

# 石油暨石化產業科技學術合作

## 八十九年度期末報告

計畫名稱：乙烯產品回收分離系統  
之可用能經濟分析

計劃編號： NSC 89-CPC-7-032-002

執行期間： 89 年 7 月 1 日 至 90 年 6 月 30 日

委託單位：中國石油股份有限公司

計畫主持人：張煖

協同主持人：韓光榮

執行單位：淡江大學

中華民國九十年六月

## 中文摘要

本計畫針對中油公司五輕廠之產品回收與分離系統進行可用能分析與可用能經濟分析，提供以熱經濟(Thermoeconomic，結合熱力與經濟分析)理論為基礎之分析結果，作為研訂製程能效提升決策(Decision Making)之重要依據。

整體製程(不含冷凍系統)、乙烯冷凍系統與丙烯冷凍系統之可用能損失分別為  $2.22 \times 10^7$  kcal/hr、 $1.16 \times 10^6$  kcal/hr 與  $7.33 \times 10^6$  kcal/hr。就各段製程而言，可用能損失較高者依序為壓縮段、C2 分離塔、去乙烷塔與去甲烷段。主產品乙烯之單位可用能成本與單位可用能經濟成本分別為 1.268 與 75.5 US\$/Mkcal (不含設備成本)及 1150US\$/Mkcal (含設備成本)，顯示設備成本有相當大影響。進出物流成本增加程度較大者依序分別為去丁烷塔、C2 分離塔、壓縮段與去丙烷塔(不含設備成本)，納入設備成本分析結果，則為去丙烷塔與 C2 分離塔。

就可用能損失而言，應優先考慮改善之所在為壓縮段、C2 分離塔、去乙烷塔與去甲烷段。就僅考慮能源成本之可用能經濟成本而言，應優先考慮改善之所在為去丁烷塔、C2 分離塔、壓縮段與去丙烷塔。就同時考慮能源與設備成本之可用能經濟成本而言，應優先考慮改善之所在為去丙烷塔與 C2 分離塔。

本研究為深入探討 C2 分離塔之可用能損失特性與分佈，進行了該塔之全塔可用能損失特性分析，本質性與非本質性可用能損失分別為  $1.4259 \times 10^6$  kcal/h 與  $8.282 \times 10^5$  kcal/h，分別佔總可用能損失之 63.3% 與 36.7%。因此對此塔而言，結構性設計與輸送現象速率之改善均應受到重視。可用能損失分佈圖則顯示主要之損失發生在進料板與中間再沸器之間，因此可考慮調整進料之條件，例如進塔前加裝熱交換器以調整進料溫度，或調整進料板位置，亦可針對此段塔調整塔板之設計。

**關鍵詞:** 可用能分析、可用能經濟分析、乙烯製程、可用能損失

## Abstract

This project conducts the exergy and exergoeconomic analysis for the product recovery and purification process of the No. 5 Cracker of China Petrochemical Corp. (CPC). The objective is to provide information thermoeconomic analysis results for decision-makings on energy efficiency improvements.

The exergy losses of the overall process (excluding refrigeration system), ethylene refrigeration system, and propylene refrigeration system are  $2.22 \times 10^7$  kcal/hr,  $1.16 \times 10^6$  kcal/hr, and  $7.33 \times 10^6$  kcal/hr, respectively. The sections showing higher exergy losses are compressor, C2 splitter, de-ethanization and de-methanization sections. The exergetic cost and thermoeconomic costs of the major product, ethylene, are 1.268 and 75.5 US\$/Mkcal (consider energy cost only) and 1150US\$/Mkcal (consider both energy and equipment costs). Comparing the thermoeconomic costs between the input and output streams of each section can indicate the impact of this section in causing the increase of the costs. The de-butanization, C2 splitter, compression and de-propanization sections exerts higher raises in the costs when only energy costs are considered, however, the de-propanization and C2 splitter sections show higher raises when both energy costs and equipment costs are considered.

In summary, based on the results from exergy loss analysis, the sections should be given higher priorities for improvements are compression, C2 splitter, de-ethanization and de-methanization sections. Based on the thermoconomic costs considering only energy costs, the

priorities are de-butanization, C2 splitter, compression and de-propanization sections. However, for the thermo-economic costs considering both energy costs and equipment cost, the priorities are de-propanization and C2 splitter sections. All three types of analysis suggest the C2 splitter section to be focused for improvement.

This project further conducts the analysis for the characteristics of the exergy losses in the C2 splitter column. The overall column intrinsic exergy loss and extrinsic exergy loss of the column are  $1.4259 \times 10^6$  kcal/h and  $8.282 \times 10^5$  kcal/h, account for 63.3% and 36.7% of the total exergy loss, respectively. Therefore, both the configuration design modification and transport phenomena rate limitation improvements are important for this column. Besides, according to the exergy loss profiles of this column, the major loss falls in the column section between the feed stage and inter-reboiler stage. The analysis therefore suggests that, for this specific column section, feed stream temperature adjustment by heat exchanger, adjustment of feed location, and modifications on the plate design are all possible alternatives for improvement.

Key words: exergy loss, exergy analysis, exergoeconomic analysis, ethylene process

# 目

# 錄

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 中文摘要.....                            | ii |
| 英文摘要.....                            | iv |
| 壹. 前言.....                           | 1  |
| 貳. 計畫目標.....                         | 4  |
| 參. 研究方法與步驟.....                      | 6  |
| 肆. 研究成果.....                         | 8  |
| 伍. 結論與建議.....                        | 49 |
| 參考文獻.....                            | 51 |
| 附錄一. 物流狀態資料.....                     | 54 |
| 附錄二. 設備成本.....                       | 63 |
| 附錄三. 公用設施之成本.....                    | 74 |
| 附錄四. 各物流的單位可用能成本與單位可用能經濟<br>成本 ..... | 75 |
| 誌謝.....                              | 84 |

## 表 目 錄

|  |    |
|--|----|
| 表一.各塔之模擬輸入條件值.....                           | 34 |
| 表二.各塔之冷凝汽、中間再沸器與再沸器熱負荷模擬結果與<br>原始設計值之比較..... | 36 |
| 表三.裂解氣體壓縮段之各單元設備之可用能損失與可用能<br>效率.....        | 37 |
| 表四.去甲烷進氣處理段之各單元設備之可用能損失與可用<br>能效率.....       | 38 |
| 表五.去甲烷段之各單元設備之可用能損失與可用能效<br>率.....           | 39 |
| 表六.去乙烷與 C2 分離段之各單元設備之可用能損失與可用<br>能效率.....    | 39 |
| 表七.去丙烷與去丁烷段之各單元設備之可用能損失與可用<br>能效率.....       | 40 |
| 表八.C3 分離段之各單元設備之可用能損失與可用能效<br>率.....         | 40 |
| 表九.乙烯冷凍系統之各單元設備之可用能損失與可用能效<br>率.....         | 41 |
| 表十.丙烯冷凍系統之各單元設備之可用能損失與可用能效                   |    |

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 率.....                             | 42 |
| 表十一.各段製程與冷凍系統之可用能損失.....           | 44 |
| 表十二.產品之單位可用能成本與單位可用能經濟成本.....      | 45 |
| 表十三(一).乙烯冷凍系統各階冷媒之成本(含設備成本).....   | 46 |
| 表十三(二).乙烯冷凍系統各階冷媒之成本(不含設備成本).....  | 46 |
| 表十三(三).丙烯冷凍系統各階冷媒之成本(含設備成本).....   | 47 |
| 表十三(四).丙烯冷凍系統各階冷媒之成本(不含設備成本).....  | 47 |
| 表十四. C2 分離塔之全塔本質性可用能損失與總可用能損失..... | 48 |
| 附錄一-一.裂解氣體壓縮段之各物流狀態.....           | 54 |
| 附錄一-二.去甲烷進氣處理段之各物流狀態.....          | 55 |
| 附錄一-三.去甲烷段之各物流狀態.....              | 57 |
| 附錄一-四.去乙烷與 C2 分離段之各物流狀態.....       | 58 |
| 附錄一-五.去丙烷與去丁烷段之各物流狀態.....          | 58 |



|   |    |
|---|----|
| 附錄一-六.C3 分離段之各物流狀態.....                                 | 59 |
| 附錄一-七.乙烯冷凍系統之各物流狀態.....                                 | 60 |
| 附錄一-八.丙烯冷凍系統之各物流狀態.....                                 | 61 |
| 附錄二-一.裂解氣體壓縮段之設備成本.....                                 | 63 |
| 附錄二-二.去甲烷進氣處理段之設備成本.....                                | 64 |
| 附錄二-三.去甲烷段之設備成本.....                                    | 67 |
| 附錄二-四.去乙烷與 C2 分離段之設備成本.....                             | 68 |
| 附錄二-五.去丙烷與去丁烷段之設備成本.....                                | 69 |
| 附錄二-六.C3 分離段之設備成本.....                                  | 70 |
| 附錄二-七.乙烯冷凍系統之設備成本.....                                  | 71 |
| 附錄二-八.丙烯冷凍系統之設備成本.....                                  | 72 |
| 附錄三.公用設施之成本.....  | 74 |
| 附錄四-一.裂解氣體壓縮段之各物流的單位可用能成本(exc)<br>與單位可用能經濟成本(tec).....  | 74 |
| 附錄四-二.去甲烷進氣處理段之各物流的單位可用能成本<br>(exc)與單位可用能經濟成本(tec)..... | 76 |
| 附錄四-三.去甲烷段流之各物流的單位可用能成本(exc)與單<br>位可用能經濟成本(tec).....    | 78 |
| 附錄四-四.去乙烷與 C2 分離段之各物流的單位可用能成本                           |    |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| (exc)與單位可用能經濟成本(tec).....        | 79 |
| 附錄四-五.去丙烷與去丁烷段之各物流的單位可用能成本       |    |
| (exc)與單位可用能經濟成本(tec).....        | 79 |
| 附錄四-六. C3 分離段之各物流的單位可用能成本(exc)與單 |    |
| 位可用能經濟成本(tec).....               | 80 |
| 附錄四-七. 乙烯冷凍系統之各物流的單位可用能成本(exc)與  |    |
| 單位可用能經濟成本(tec).....              | 81 |
| 附錄四-八. 丙烯冷凍系統之各物流的單位可用能成本(exc)與  |    |
| 單位可用能經濟成本(tec).....              | 82 |

## 圖 目 錄

|   |    |
|---|----|
| 圖一. 一個穩態開放系統.....                         | 17 |
| 圖二. 裂解氣體壓縮段流程.....                        | 18 |
| 圖三. 去甲烷進氣處理段流程.....                       | 19 |
| 圖四. 去甲烷段流程.....                           | 20 |
| 圖五. 去乙烷與 C2 分離段流程.....                    | 21 |
| 圖六. 去丙烷與去丁烷段流程.....                       | 22 |
| 圖七. C3 分離段流程.....                         | 23 |
| 圖八. 乙烯冷凍系統.....                           | 24 |
| 圖九. 丙烯冷凍系統.....                           | 25 |
| 圖十. 可用能分析與可用能經濟分析流程.....                  | 26 |
| 圖十一. 各段製程之進出物流的單位可用能經濟成本(不含<br>設備成本)..... | 27 |
| 圖十二. 各段製程之進出物流的單位可用能經濟成本(含設<br>備成本).....  | 28 |
| 圖十三. 乙烯冷凍系統各階冷媒之可用能經濟成本                   |    |
| (a)不含設備成本.....                            | 29 |
| (b)含設備成本.....                             | 30 |

圖十四. 丙烯冷凍系統各階冷媒之可用能經濟成本

(a)不含設備成本..... 31

(b)含設備成本..... 32

圖十五. C2 分離塔之可用能損失分佈曲線..... 33

# 壹. 前 言

溫室氣體之管制已在 1997 年京都會議之後成為各國必須重視之課題，以我國政府在 1998 年五月之全國能源會議之後，亦已訂定行動方案，其中包括要求主要能耗產業，如石化業，提出自願減量方案，並積極研擬各類產品之能耗指標。政府規劃之能源節約率為每年 1.2%，相當於目前之三倍；且自目前至 2010 年總節能率目標為 16%，至 2020 年須達 28%。此等高節能率將嚴厲考驗各工廠之技術與競爭力。就積極因應政府行動方案之層面而言，各廠必須確實分析、評估其製程特性，包括新舊程度，與可能改善方案之技術與經濟可行性，據以提出自願性能耗改善目標，並配合政府訂定出可行之能耗指標。因此如何提供一套可以發現製程改善所在與可改善程度之正確方法，實為重要關鍵。可用能分析與可用能經濟分析即為有效方法。

可用能分析(Availability or Exergy Analysis)係結合熱力學第一與第二定律之分析方法，藉以探討能源系統或生產製程之可用能效率，由於係以一致之基準量化決定可利用之能源，可分析系統之真正能源效率。可用能分析並可與成本經濟分析結合成為可用能經濟分析(Thermoeconomic or Exergoeconomic Analysis)，將系統之操作與投資成本納入考量，分析系統中各物流之可用能成本，進而提供探討兼具

能源與經濟效益之設計所需資訊。部份可用能相關之研究與應用請參考文獻 1-4。為探討可用能觀念與化工製程設計之關聯，張煖[5]建立了一個製程設計之架構(Design Framework)，並詳細探討在各設計步驟(Design Step)中，可用能分析之應用性，同時亦發現可用能經濟分析確可提供較一般成本分析更多之資訊以利製程之改善。Guallar and Valero[6]發展了系統化之可用能成本分析理論(Exergetic Cost Theory, ECT)，藉由建立系統矩陣，Incident Matrix，得以指定各物流之可用能成本(Exergetic Cost)。可用能之觀念與應用在國內尚待推廣，本計畫研究人員曾進行以下兩項能源會研究計畫[7-8]: (1)應用可用能分析台灣地區之能源使用狀況，(2)火力電廠之能源效率分析。另，中油公司曾針對桃廠煉油製程進行了可用能分析[9]。在可用能成本分析方面，張煖與韓光榮[10]曾應用可用能觀念進行一座大型汽電共生系統，發電量 292MW 與蒸汽供應量 800 公噸/小時，之可用能分析與可用能經濟分析。此外，張煖[11]在國科會專題研究計畫-石油腦裂解廠之可用能經濟分析中，利用 Lincoff[12]所建立之製程設計教學個案問題-136.5 萬噸/年之石油腦熱裂廠作為分析對象，進行可用能經濟分析在石化製程之分析方法與應用性探討。

輕油裂解廠為生產主要產品乙烯，須將原料，如石油腦

(Naphtha)，經裂解爐加以裂解成為氫氣、甲烷、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub> 等多項產品，進而經由多段壓縮(Compression Train)與低溫蒸餾分離(Cold Separation Train)以回收高純度與高回收率之乙烯主要產品與氫氣、丙烯、丁烯等次要產品。本計畫針對中油公司五輕廠之產品回收與分離系統進行可用能分析與可用能經濟分析，提供以熱經濟(Thermoeconomic，結合熱力與經濟分析)理論為基礎之分析結果，作為研訂製程能效提升決策(Decision Making)之重要依據。其中經由可用能分析可了解各次系統/單元/設備之可用能效率，指出僅就能源利用考量，最具能效提升潛力之所在。可用能經濟分析則可建立各物流之可用能成本(Exergetic Cost，即為生產某一物流所需之可用能)、各物流之可用能經濟成本(Exergoeconomic Cost，即為獲得某一物流所需耗用之資源，以金錢單位表達，係透過分析製程之相互原料-產品關係，並考量操作、投資成本分析而得)。進而可比較、評估兼具能源與經濟效益之改善方案。

本計畫之研究成果將可提供中油公司乙烯廠產品回收與分離系統之深入、完整可用能分析與可用能經濟分析結果，並可進而作為探討能效改善方案，以及為因應溫室氣體管制所須研擬之產品能耗指標與自願性減量方案之技術依據。

## 貳. 計畫目標

本計畫係針對中油公司五輕廠之產品回收與分離系統進行可用能分析與可用能經濟分析，提供以熱經濟(Thermoeconomic，結合熱力與經濟分析)理論為基礎之分析結果，作為研訂製程能效提升決策(Decision Making)之重要依據。

### 一. 預期完成之工作項目

1. 可用能分析參考環境之建立
2. 製程基本流程與主要物流條件之建立
3. 製程操作成本與設備成本估計
4. 製程可用能分析
5. 製程可用能經濟分析
6. 能效改善方案之探討

### 二. 對於學術研究、國家發展及其他應用方面預期之貢獻

1. 本計畫之研究成果將可提供中油公司乙烯廠產品回收與分離系統之深入、完整可用能分析與可用能經濟分析結果,並可進而作為探討能效改善方案,以及為因應溫室氣體管制所須研擬之產品能耗



指標與自願性減量方案之技術依據。

2. 本研究將建立可用能經濟分析在大型石化製程之應用實例。
3. 本研究將可作為推廣可用能經濟分析於國內石化廠之示範，有助於各工廠找出能源改善空間，以因應溫室氣體管制問題。

### 三. 參與之工作人員預期可獲之訓練

1. 本研究將提供研究人員石化製程設計與成本分析訓練,尤其是針對乙烯廠產品回收與分離系統之掌握。
2. 本研究將提供研究人員石化製程可用能分析與可用能經濟分析訓練。

## 參. 研究方法與步驟

1. 可用能分析參考環境之建立——為分析各物流之可用能，須建立一具實際意義之參考環境，包括其溫度、壓力與組成；將依製程所涉及成份，建立可函概所有成份之環境穩定組成。
2. 製程基本流程與主要物流條件之建立——針對五輕廠之產品回收與分離系統建立製程基本流程與主要物流(含公用設施需求，如蒸汽，冷卻水，冷媒，電力)條件；將配合現場資料與製程模擬軟體(CHEMCAD™ V. 5.03)之設計模擬兩種方式建立。
3. 製程操作成本與設備成本估計——提供可用能經濟分析所需成本資料；將配合現場資料與設計推估方法兩種方式建立。
4. 製程可用能分析——依可用能分析理論決定各物流(Process Streams)之可用能，以及各製程系統/單元/設備之可用能損失與效率，並依分析結果與製程特性探討具改善潛力之處。
5. 製程可用能經濟分析——針對各製程系統/單元/設備決定適用之可用能成本資料，採 Exergetic Cost Theory 之系統化方法，決定各物流之可用能成本，並依分析結果與製程特性探討具改善潛力之處。

6. 能效改善方案之探討——針對現場可能方案與技術文獻蒐集可能方案，進行其可用能分析與可用能成本分析與可用能經濟成本分析，並進行比較。

## 肆. 研究成果

### 一. 可用能基本定義與參考環境定義

可用能觀念相對於一般之能量的差異主要在於：可用能是同時考量熱力學第一定律與第二定律。可用能之觀念最早是 Tait[13]針對熱能(Heat)所提出，有關觀念之演進詳述於 Haywood[14]。根據 Gaggioli[15]與 Kotas[2]之定義為：「當某一系統或特定型式之能源只與參考環境相互作用(Communicate)時，所可獲得之最大量功(Work)的潛能。」

可用能與一般能量之不同在於其量不只決定於系統之性質與能量傳輸之型式，並取決於參考環境之狀態(State)。參考環境是真實環境之理想化，一般係假設其規模極為龐大，致使其性質，如溫度、壓力與組成，不因其與系統之相互作用而受影響。

針對工程上主要涉及之開放系統(Open System)而言，一物流(Process Stream)之可用能係指當其與參考環境達到熱(Thermal)、機械(Mechanical)與化學(Chemical)平衡時，所可獲得之最大功。如果僅達到熱與機械平衡，所獲最大功稱為物理可用能(Physical Exergy)，進而達成化學平衡所獲最大功稱為化學可用能(Chemical Exergy)。  $ex_{ph}$  與  $ex$  分別代表物理可用能與可用能(含化學可用能)，其與熱力性質之關

係如式(1)與式(2)：

$$ex_{ph} = (h - h_o) - T_o(s - s_o) \quad (1)$$

$$ex = (h - T_o s) - \sum_1^{n_c} x_i \mu_{i,oo} \quad (2)$$

式中  $h$ ， $s$ ， $x_i$  分別為物流之熱焓(Enthalpy)、熵(Entropy)與組成， $h_o$ 、 $s_o$ 、 $T_o$  與  $\mu_{i,oo}$  則為參考環境之熱焓、熵、溫度與化學潛能(Chemical Potential)。

就一穩態(Steady State)開放系統(如圖一)而言，其可用能平衡式為：

$$\sum_1^{n_{in}} m_i ex_i - \sum_1^{n_{out}} m_j ex_j + \sum_1^{n_Q} Q(1 - \frac{T_o}{T_i}) - \sum_1^{n_W} W_k - exl = 0 \quad (3)$$

式中左邊第一項與第二項分別為進、出系統之物流， $exl$  代表系統之可用能損失，包括源自棄置物流(Waste Streams)之可用能與系統內部之不可逆性造成之損失。

本研究涉及之主要成份為水、氫氣與碳氫化合物，其中水為參考環境中之基本成份，僅考量其物理可用能，氫氣與碳氫化合物則會與參考環境中之氧氣發生燃燒反應，產生參考環境中所具有之水與二氧化碳，分析中必須考量其化學可用能。本研究設定參考環境之溫度與壓力分別為 25°C 與 1atm，參考環境組成則採用 Lozano and Valero[6] 所建立之組成。

## 二. 可用能效率定義

一個系統之效率定義決定於基於系統特性對於各物流與能量傳輸分別賦予進、出(Input, Output)或目的、驅動力(Purpose, Driving Force)分類而定。通常可分為兩大類定義，即：

$$\begin{aligned}\eta_I &= \frac{\text{all output exergies}}{\text{all input exergies}} \\ &= 1 - \frac{\text{exl}}{\text{all input exergies}}\end{aligned}\quad (4)$$

$$\begin{aligned}\eta_{II} &= \frac{\text{all purpose exergy changes}}{\text{all driving force exergy changes}} \\ &= 1 - \frac{\text{exl}}{\text{all driving force exergy changes}}\end{aligned}\quad (5)$$

## 三. 可用能成本分析

可用能成本分析方法之回顧請參見 Gaggioli and El-Sayed[16]、Tsatsaronis[17]及 Tsatsaronis 等人[18]之論文。Valero 等人[19]發展了系統化之可用能成本分析方法，藉由建立系統矩陣，Incidence Matrix，得以指定各物流之可用能成本(Exergetic Cost)。本研究即採用此系統化分析方法。

系統之基本可用能成本分析方程式為：

$$AE = Y \quad (6)$$

式中  $A$  為  $k \times k$  之系統矩陣， $k$  為物流數， $A$  包括了三大部份內容：

(1)  $j_1$  列係個別表達  $k$  物流與系統之  $j_1$  個單元或次系統之進出關聯，進流為+1，出流則為-1，無進出關係則為 0；(2)  $j_2$  列係個別表達外界進入系統之物流，以+1 代表；(3)  $(k-j_1-j_2)$ 列係表達各單元或次系統間物流可用能成本之關係，例如同為一次系統之產品的數物流將具有相同的單位可用能成本，此類關係取決於分析者對各物流性質，如為進料(驅動力)、產品(目的)、燃料或廢棄物，之認定，以及對其價值之認定。 $E$  為  $k \times 1$  之向量，代表各物流之可用能成本( $EXC_i$ , Exergetic Cost)，即各物流之實質有效可用能，不同於其依式(1)或式(2)之定義所可計算出之可用能。 $Y$  亦為  $k \times 1$  之向量，其中  $j_2$  項為外界進入物流之可用能成本，但相當於其可用能，因對於外界進入物流而言，二者係相等，其餘項則為 0。

個別物流  $i$  之單位可用能成本， $exc_i$ ，則為：

$$exc_j = \frac{EXC_j}{ex_j} \quad (7)$$

其中  $ex_i$  為物流  $i$  之可用能。

針對可用能經濟成本(Thermoeconomic Cost)則依下列方程式分析：

$$AT = Z \quad (8)$$

式中  $T$  為  $k \times 1$  之向量，代表各物流之可用能經濟成本， $TEC_i$ 。

Z 亦為  $k \times 1$  之向量，其中  $j_2$  項為外界進入物流之經濟成本，其餘項則為 0。為提供完整之分析，可於 Z 向量中納入系統設備之投資、維修與管理等成本攤提。單位可用能經濟成本， $tec_j$ ，為：

$$tec_j = \frac{TEC_j}{ex_j} \quad (9)$$

#### 四. 五輕製程模擬與分析

本計畫已於 89 年 11 月拜訪中油公司高雄煉油總廠，獲得全力配合取得五輕製程相關流程圖，如圖二～圖九所示。為建立各物流資料以進行可用能分析，本研究利用 CHEMCAD<sup>TM</sup> 5.06 進行五輕之乙烯產品回收與分離製程及冷凍系統的模擬，各部分製程(包括壓縮段、去甲烷塔預冷段(Cold Box)、去甲烷段、去乙烷與 C2 分離段、去丙烷與去丁烷段、C3 分離段、乙烯冷凍系統與丙烯冷凍系統)之物流資料表列於附錄一，表中除列出各物流之溫度、壓力、流量、氣相比之外，亦包括了熱焓(Enthalpy)與熵(Entropy)，以利可用能之計算。系統模擬選用 SRK 熱力模式。

在蒸餾塔之模擬方面，本研究利用 CHEMCAD<sup>TM</sup> 5.06 之蒸餾塔速率模式(或稱非平衡模式)，依據高雄煉油總廠所提供各塔之塔內設計資料，進行各塔之模擬，表一為各塔之模擬輸入條件值，表二則為各



塔之冷凝汽、中間再沸器與再沸器熱負荷模擬結果與原始設計值之比較，對大部分塔而言，二者相當接近。利用速率模式可避免需要對塔之效率值作猜測的困擾，目前之分析僅依據廠方所提供塔徑、塔板型式資料，未來倘若資料能更完整當可獲得更接近實際之結果。速率模式中係使用 AIChE 質傳速率模式。

此外，為了進行可用能經濟分析，本研究同時利用 CHEMCAD<sup>TM</sup> 5.06 進行各主要設備之成本分析，結果列於附錄二。公用設施，如冷卻水、電、蒸汽，之成本則列於附錄三。

## 五.可用能分析與可用能經濟分析

可用能分析與可用能經濟分析之流程如圖十。依據前述製程模擬結果所建立之物流資料進行各單元設備之可用能損失與可用能效率分析，結果列於表三 ~ 表十。各段製程與冷凍系統之可用能損失彙整於表十一，整體製程(不含冷凍系統)、乙烯冷凍系統與丙烯冷凍系統之可用能損失分別為  $2.22 \times 10^7$  kcal/hr、 $1.16 \times 10^6$  kcal/hr 與  $7.33 \times 10^6$  kcal/hr。就各段製程而言，可用能損失較高者依序為壓縮段、C2 分離塔、去乙烷塔與去甲烷段。

在可用能成本分析方面，各製程之各物流的單位可用能成本(exc)

與單位可用能經濟成本(tec)分析結果詳列於附錄四。由於整個製程牽涉之物流數目極大，分析工作是以各段製程獨自分析的方式進行，各段製程間的連結物流，包括前段製程之流出物流為後段製程之流入物流、後段製程之流出物流回流至前段製程成為其流入物流、製程物流因熱整合而成為冷凍系統之流入物流等情形，的成本則是以直接疊代(Direct Substitution)的方法使各物流之成本收斂之方式處理。裂解氣體之成本設定為零。

針對製程之各項產品，如乙烯、丙烯、丙烷等，之單位可用能成本與單位可用能經濟成本則彙整於表十二，其中單位可用能經濟成本之結果分為不含設備成本，即只考量公用設施與物流成本，以及含設備成本兩種情形。由於此製程之特性為各主要產品係經過一系列之蒸餾分離依序自輕成分至重成分逐一分離出產品，故愈重之成分，如丙烯、丙烷與四碳產品，因經過愈多之單元設備，其單位可用能成本與單位可用能經濟成本均較高。主產品乙烯之單位可用能成本與單位可用能經濟成本分別為 1.268 與 75.5 USD/Mkcal(不含設備成本)及 1150USD/Mkcal(含設備成本)，顯示設備成本有相當大影響。此外，為呈現各段製程對進出該製程物零成本之影響，將進出各段製程之物流的單位可用能經濟成本以圖十一及圖十二表示，前者是不含設備成

本。圖十一顯示進出物流成本增加程度較大者依序分別為去丁烷塔、C2 分離塔、壓縮段與去丙烷塔，納入設備成本分析結果，圖十二，則為去丙烷塔與 C2 分離塔。

冷凍系統各階冷媒之成本資料則列於圖十三、圖十四與表十三。

## 六. 製程改善之探討

依據前述可用能分析與可用能成本分析之結果顯示：

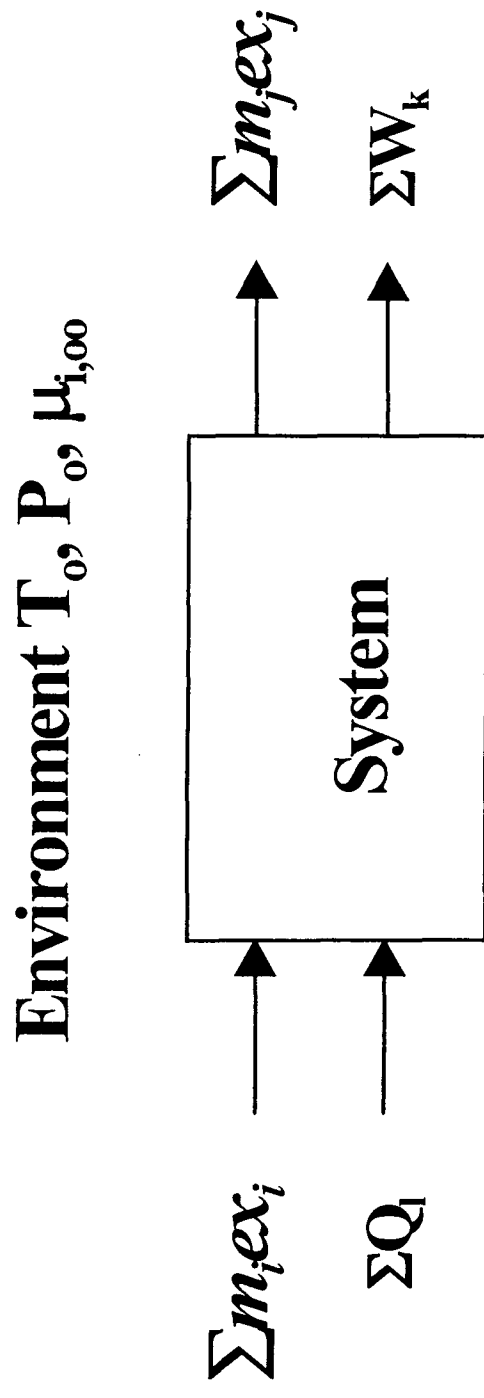
1. 就可用能損失而言，應優先考慮改善之所在為壓縮段、C2 分離塔、去乙烷塔與去甲烷段。
2. 就僅考慮能源成本之可用能經濟成本而言，應優先考慮改善之所在為去丁烷塔、C2 分離塔、壓縮段與去丙烷塔。
3. 就同時考慮能源與設備成本之可用能經濟成本而言，應優先考慮改善之所在為去丙烷塔與 C2 分離塔。

綜合上列三種分析之結果，C2 分離塔均為應優先改善之重點。

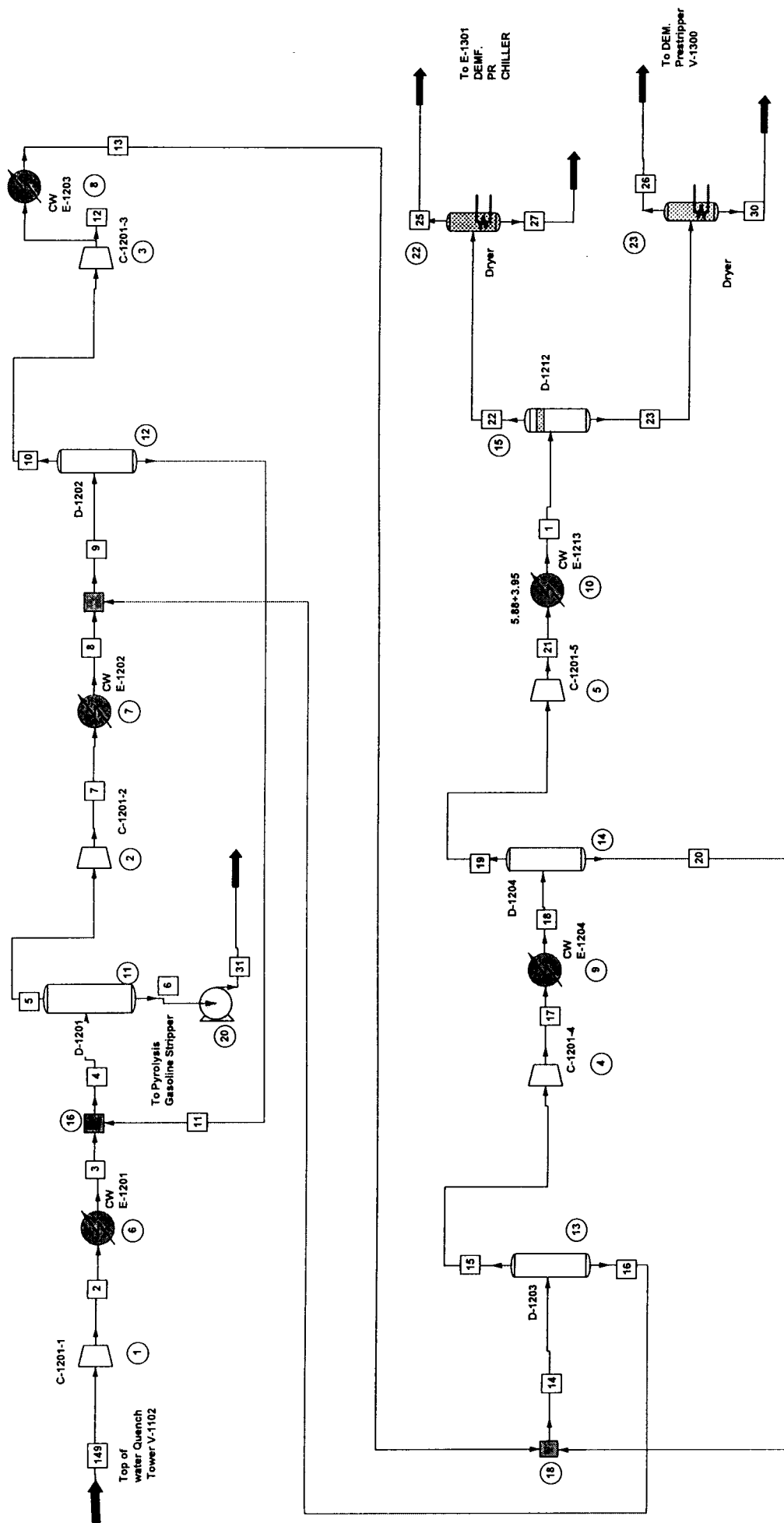
本研究為深入探討 C2 分離塔之可用能損失特性與分佈，進行了該塔之全塔本質性與非本質性可用能損失分析[20]，分析結果如圖十五與表十四。本質性可用能損失係因該塔之結構性設計的限制，例如有有限板數、簡單蒸餾塔…等，所產生的可用能損失；非本質性可用能

損失則是因輸送現象速率限制之存在，例如有限的熱傳或質傳速率與界面面積，所產生的可用能損失。

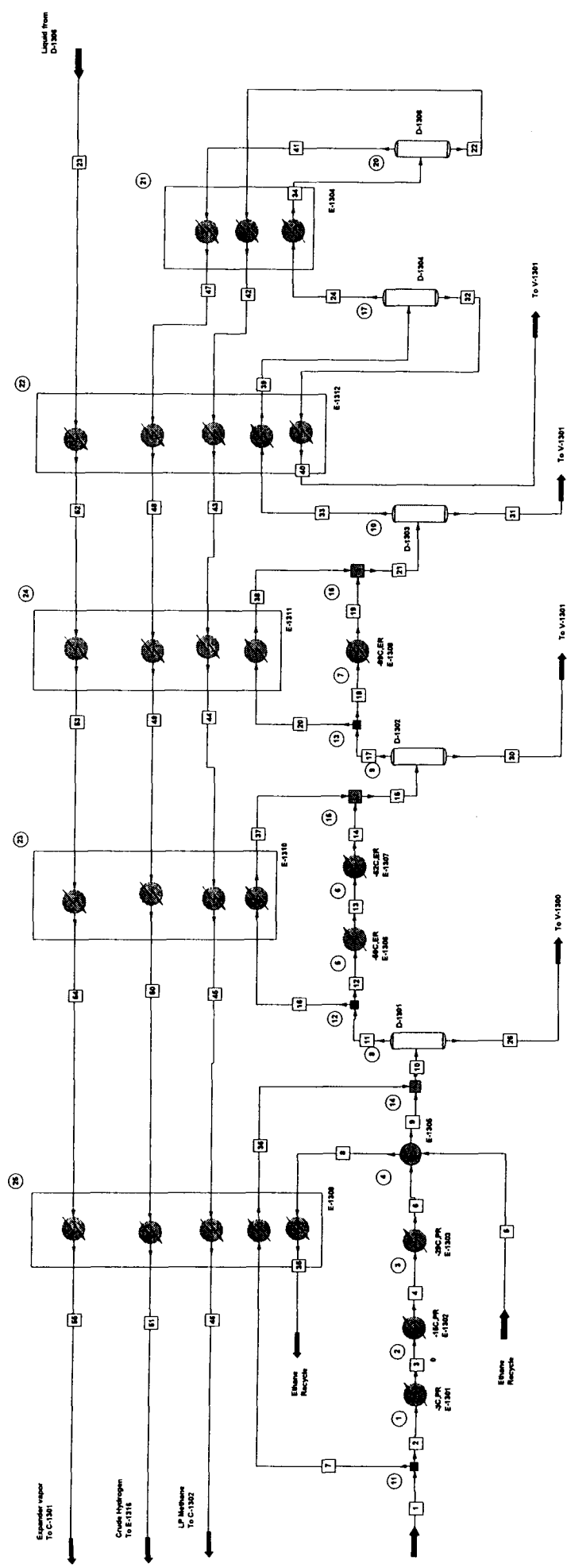
由表十四之可用能損失分析結果顯示，本質性與非本質性可用能損失分別為  $1.4259 \times 10^6$  kcal/h 與  $8.282 \times 10^5$  kcal/h，分別佔總可用能損失之 63.3% 與 36.7%。因此對此塔而言，結構性設計與輸送現象速率之改善均應受到重視，可考慮如增加中間再沸器及調整其熱負荷等方法以改進結構上之影響，或調整板之設計，如堰高、堰寬、板之型式等方法以改進質傳速率。此外，由圖十五之可用能損失分佈圖則顯示主要之損失發生在板 83~96，即進料板與中間再沸器之間，尤其是在進料板附近存在一尖峰值。因此就結構性設計之改善方面，可考慮調整進料之條件，例如進塔前加裝熱交換器以調整進料溫度，或調整進料板位置。就輸送現象速率之改善方面可針對此段塔調整塔板之設計。



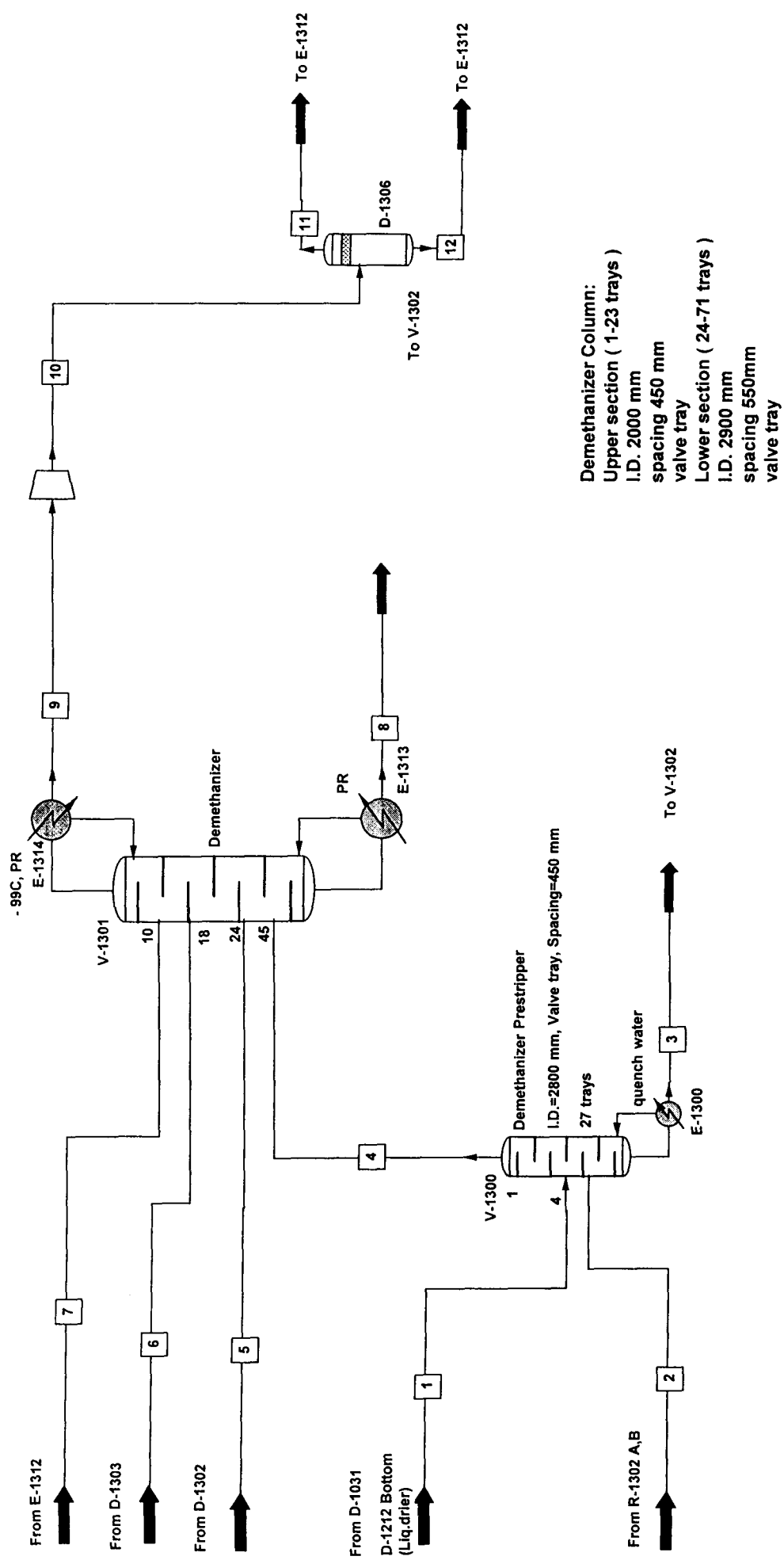
圖一. 一個穩態開放系統  
(A steady state open system)



圖二. 裂解氣體壓縮段流程

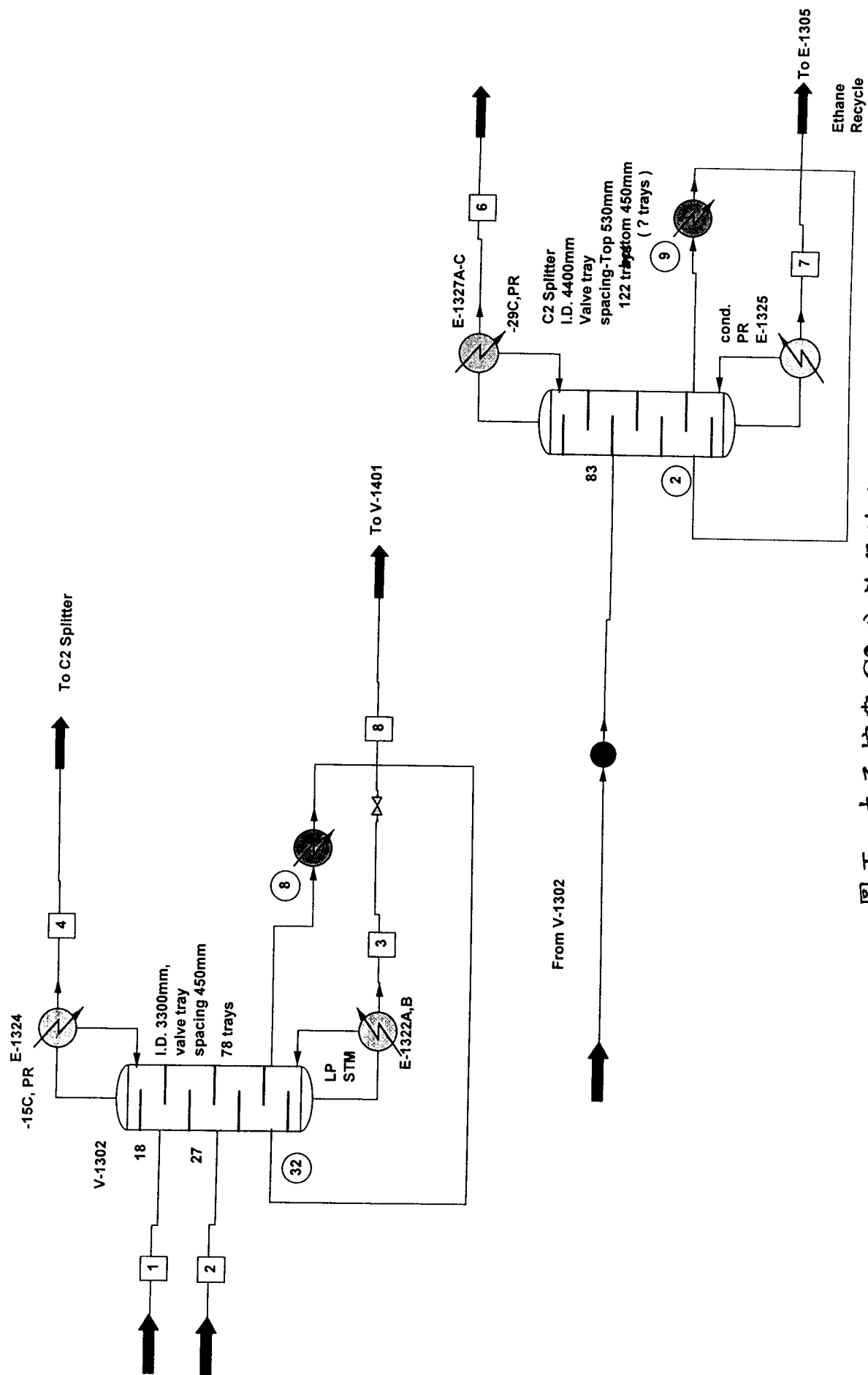


圖三. 去甲烷進氣處理段流程

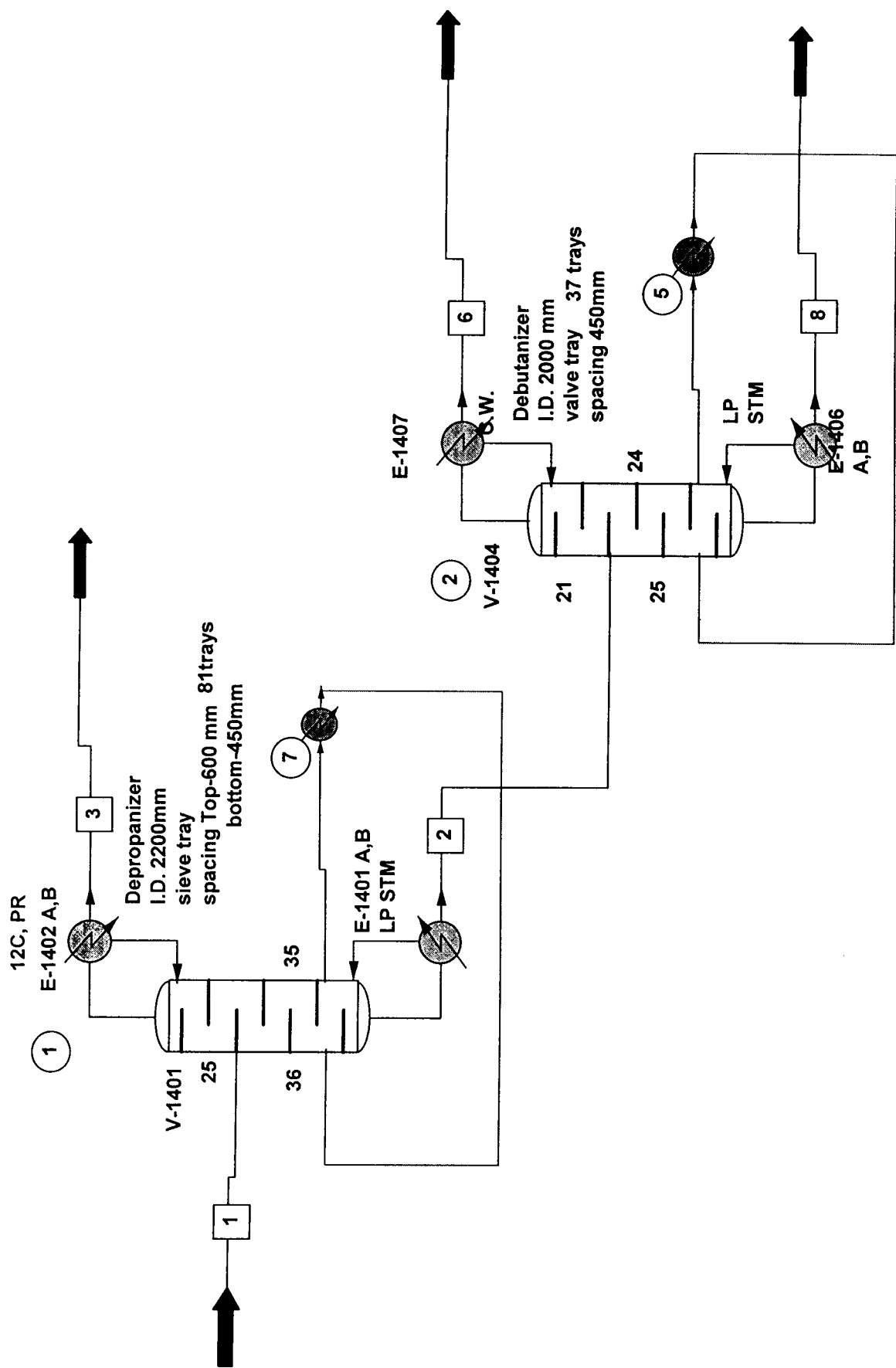


圖四. 去甲烷段流程

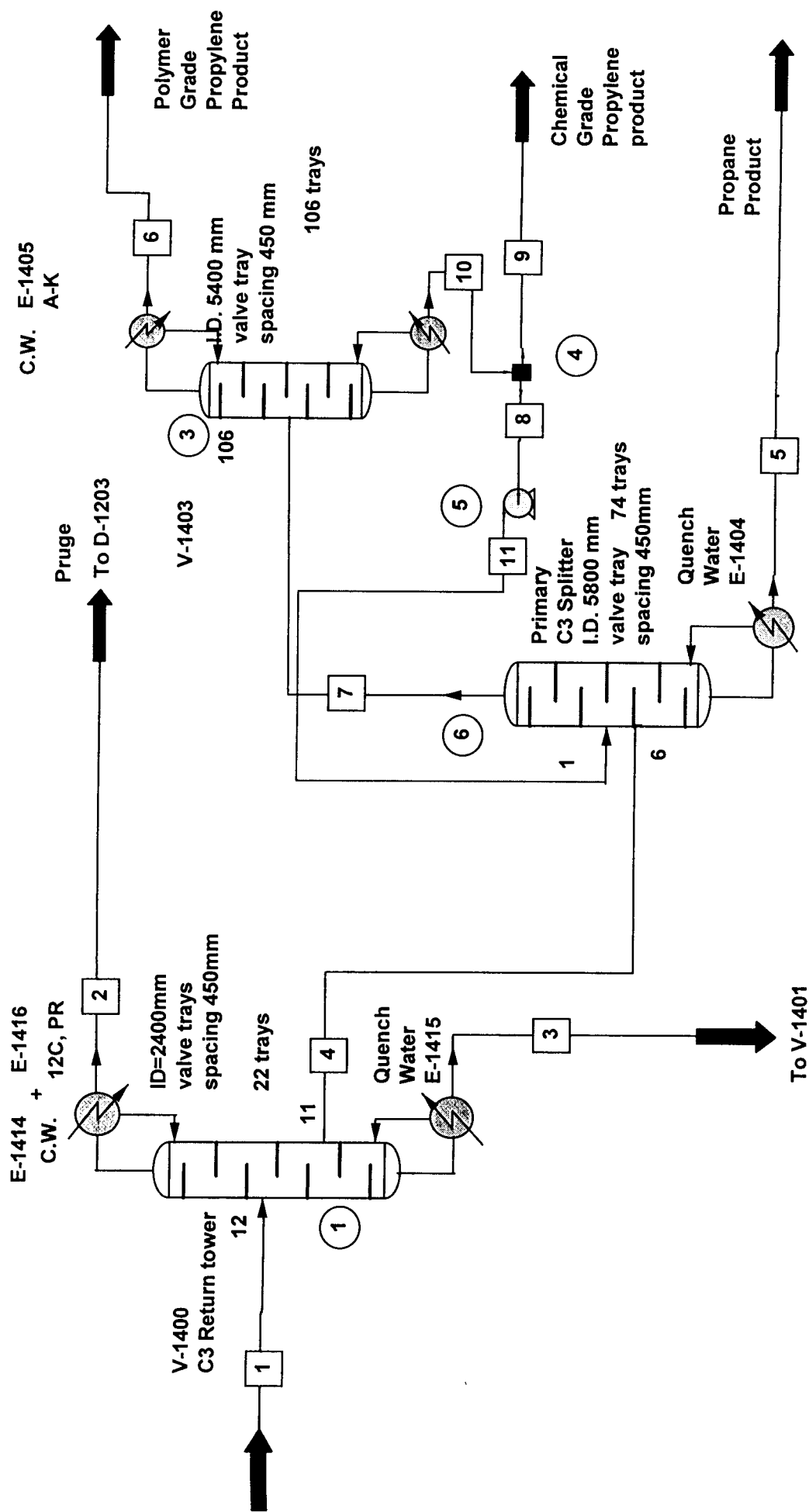




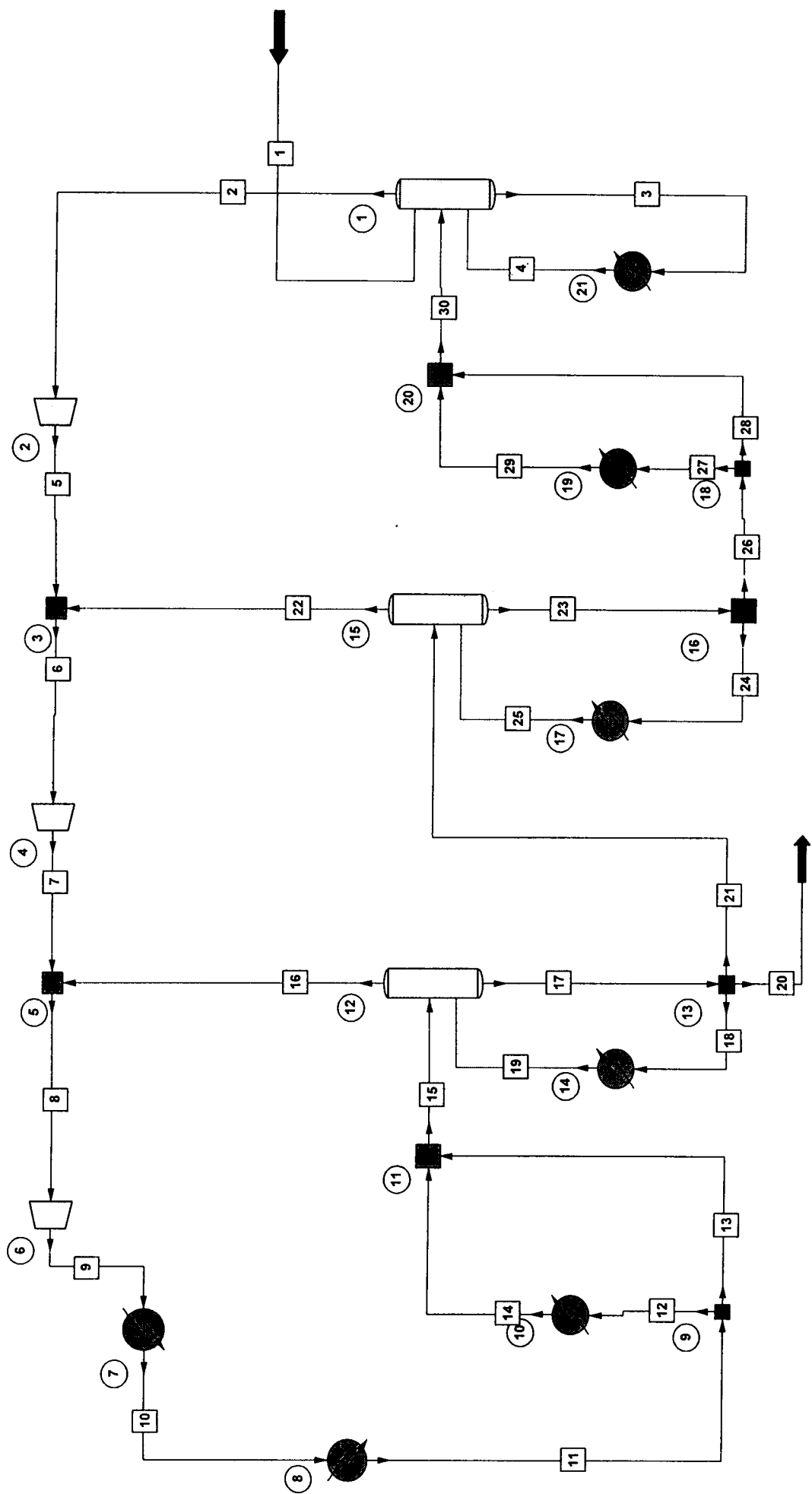
圖五. 去乙烷與C2分離段流程



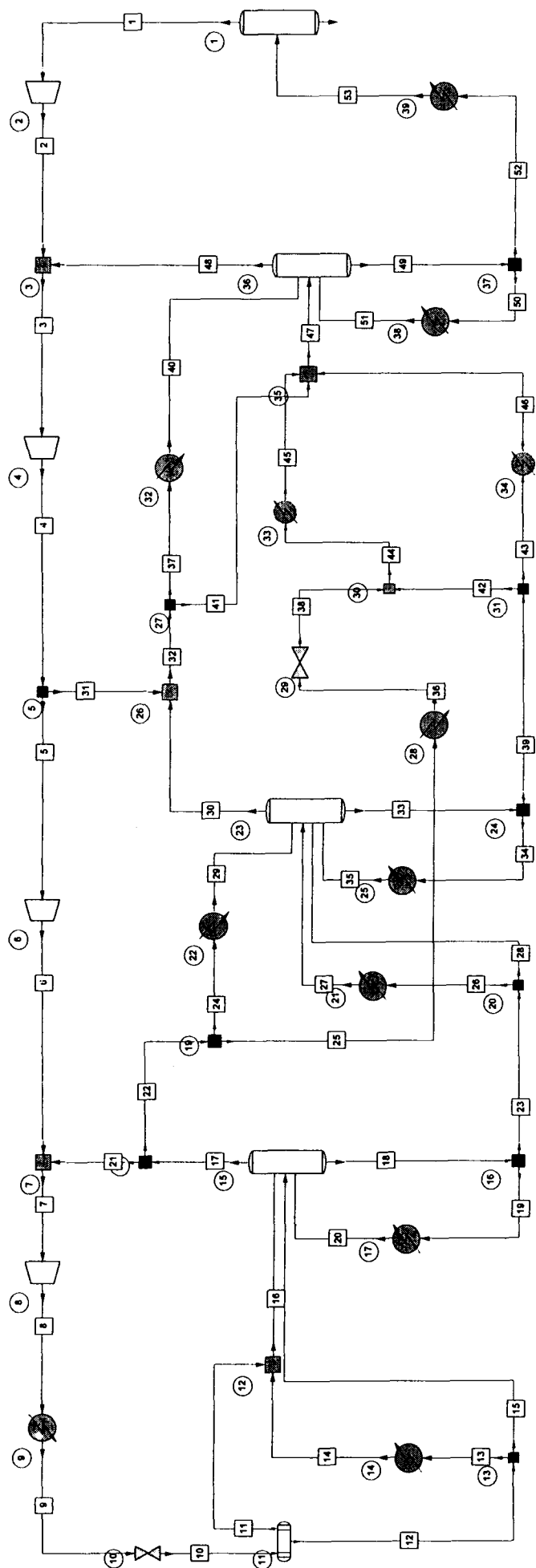
圖六. 去丙烷與去丁烷段流程



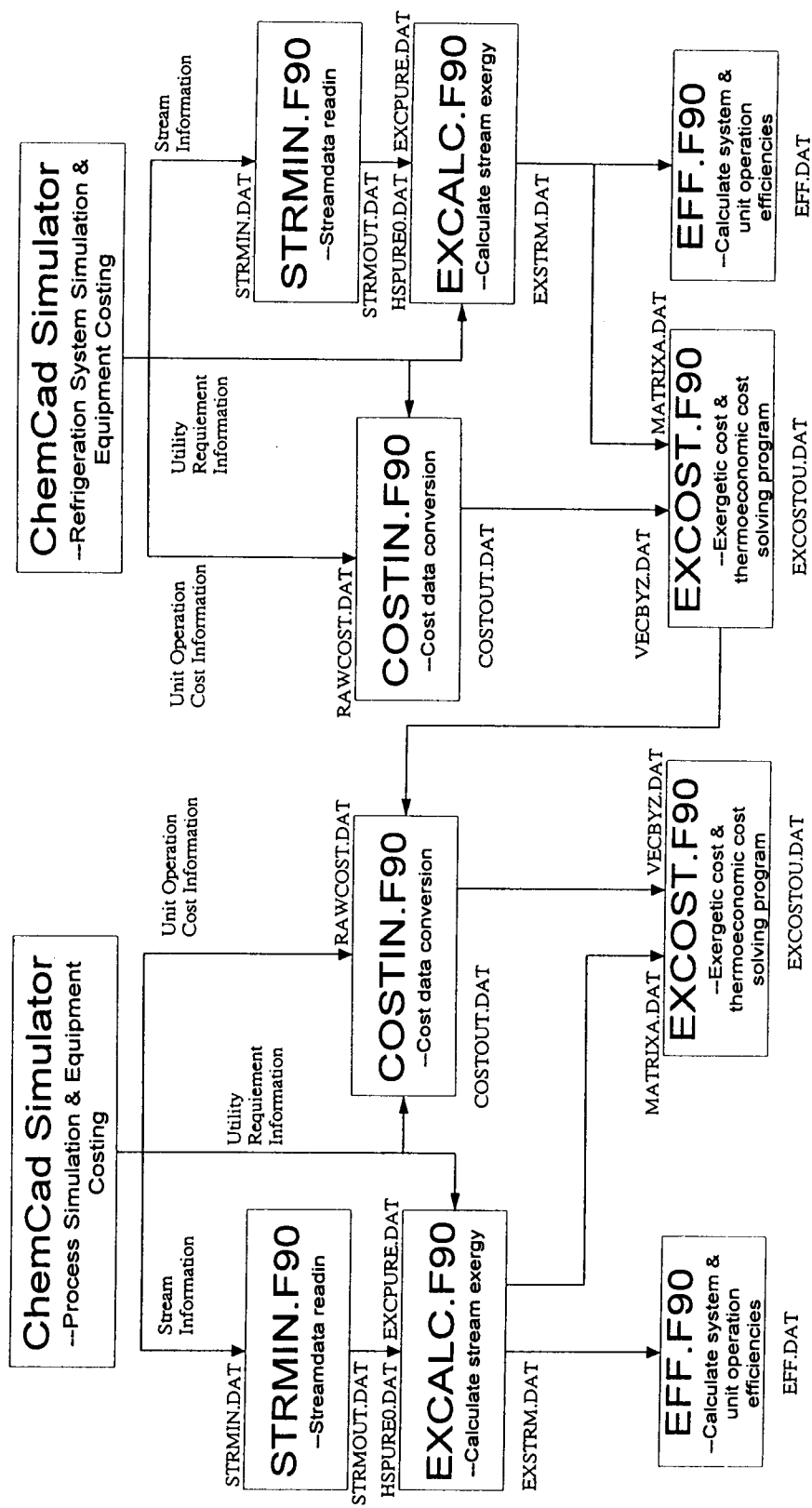
圖七. C3 分離段流程



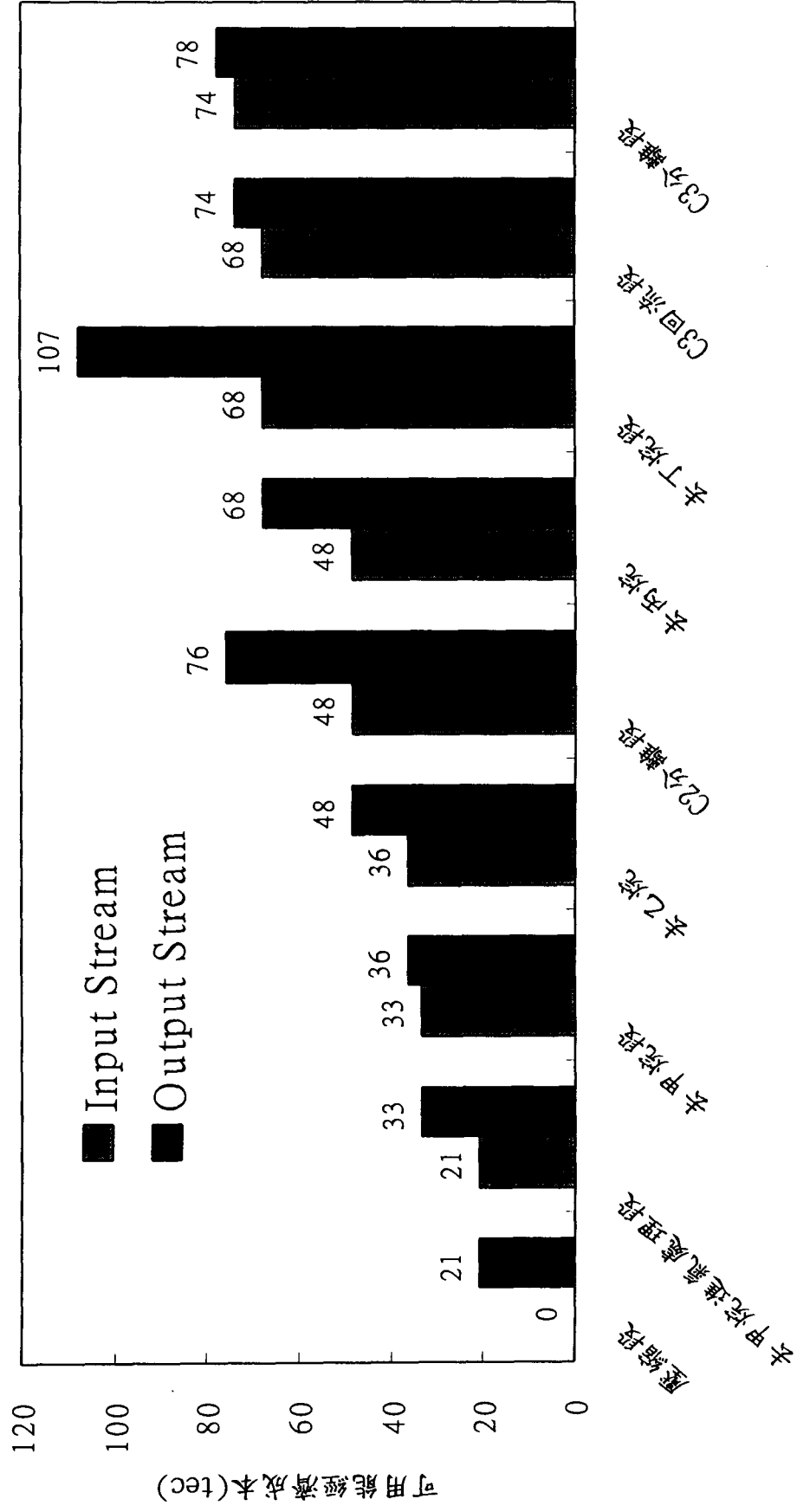
圖八. 乙烯冷凍系統



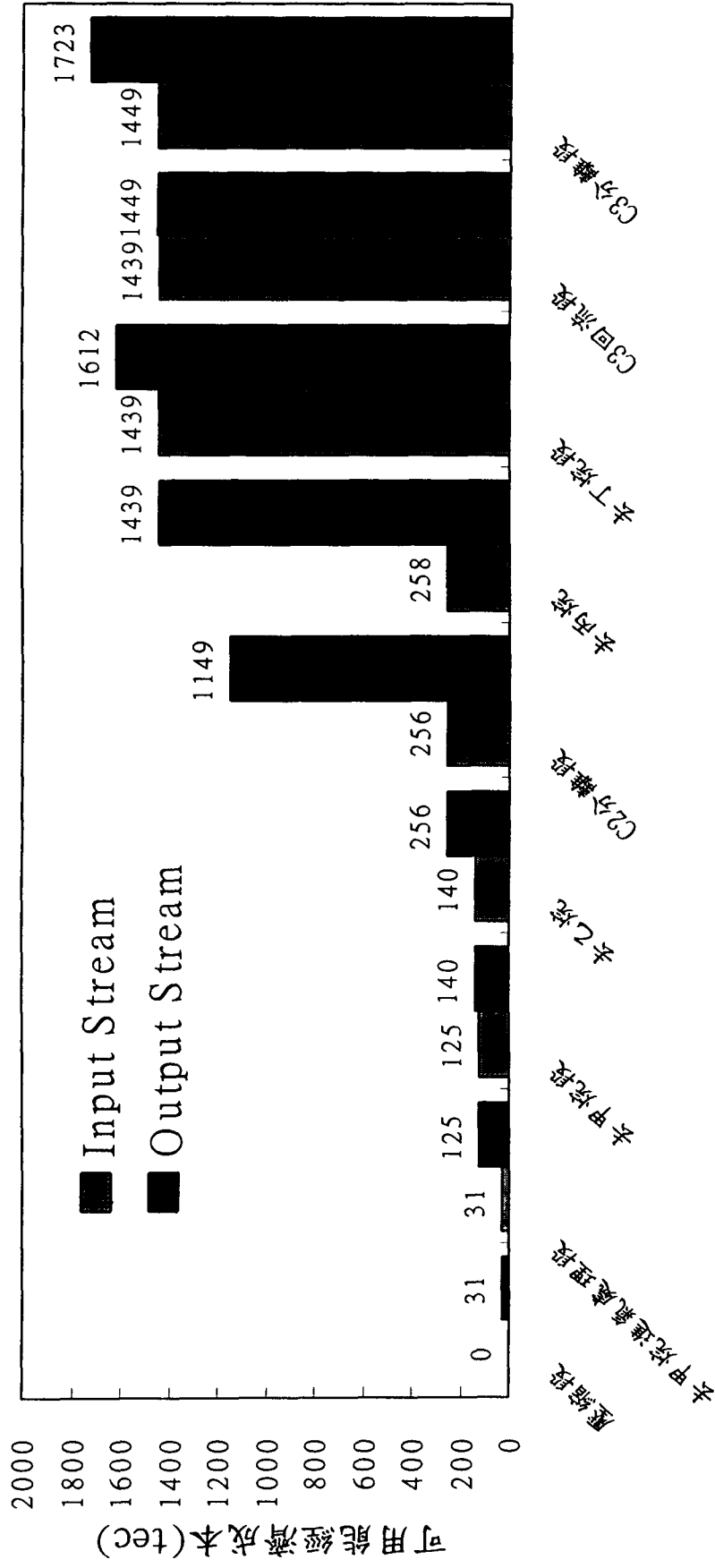
圖九. 丙烯冷凍系統



圖十. 可用能分析與可用能經濟分析流程

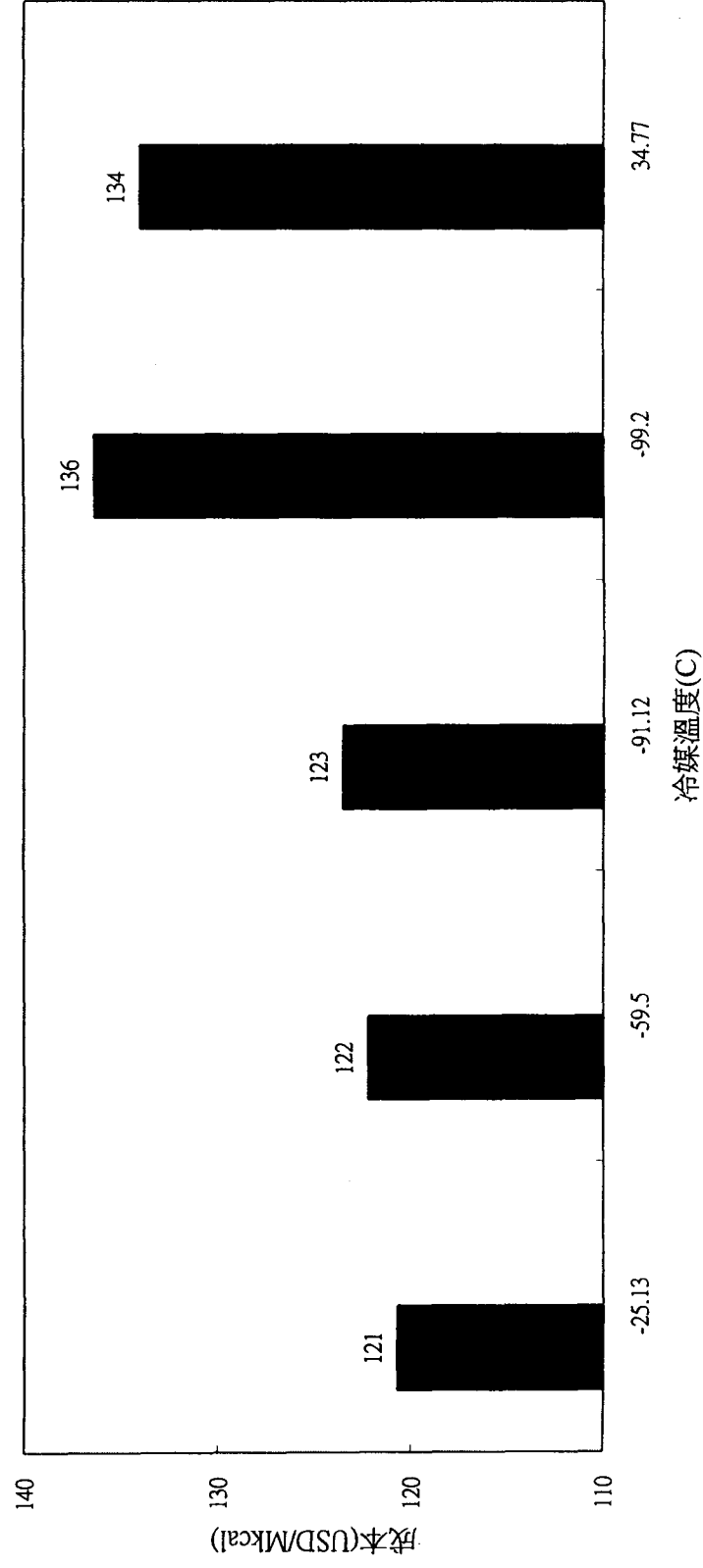


圖十一. 各段製程之進出物流的單位可用能經濟成本(不含設備成本)



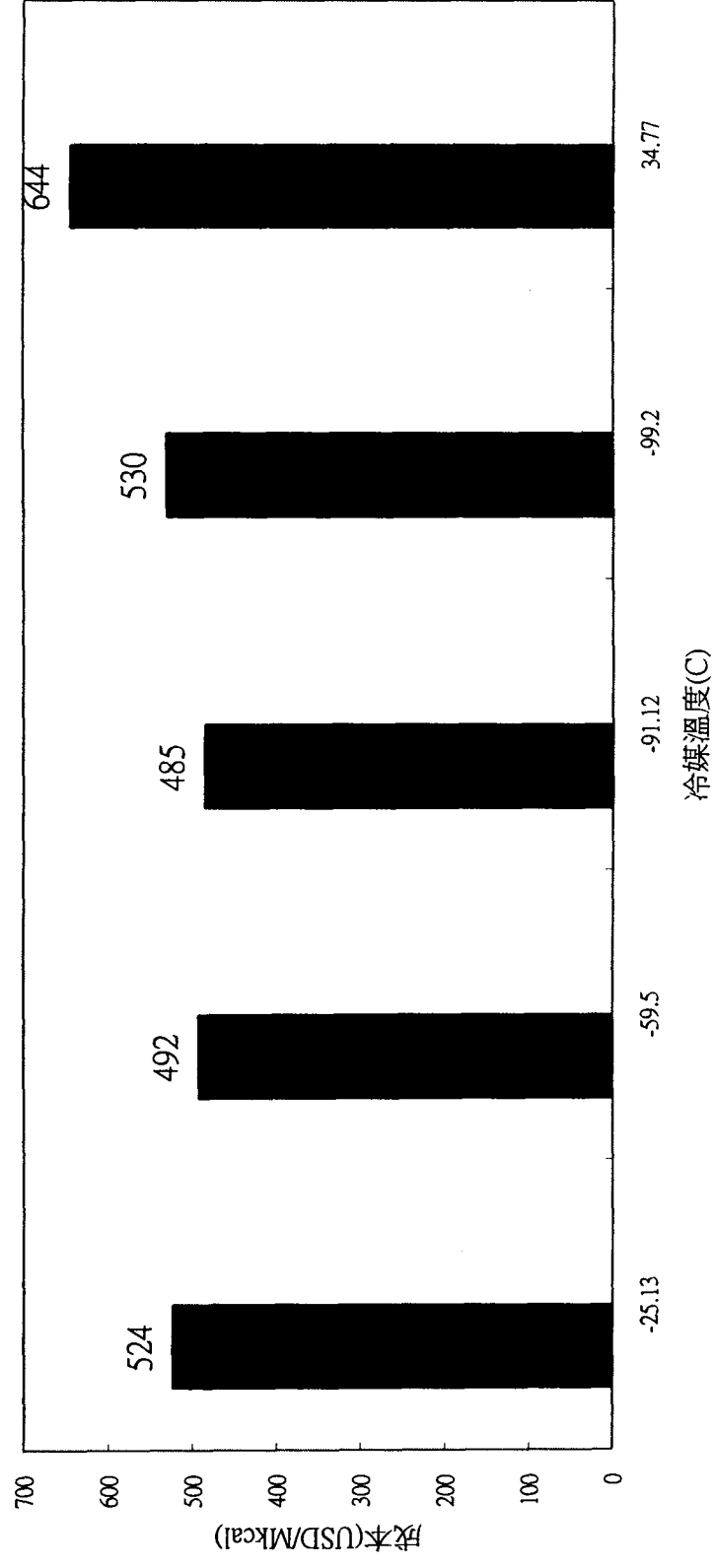
圖十二. 各段製程之進出物流的單位可用能經濟成本(含設備成本)





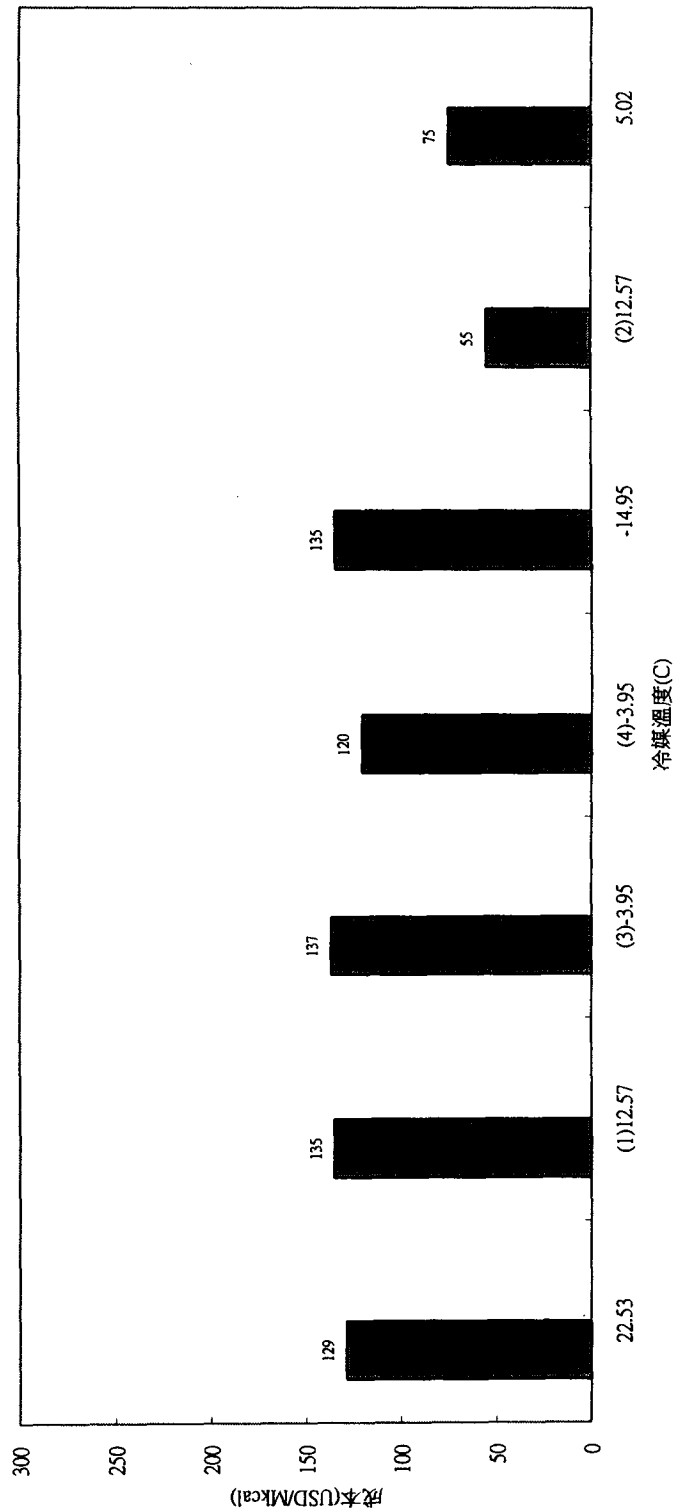
(a) 不含設備成本

圖十三. 乙烯冷凍系統各階冷媒之可用能經濟成本



(b)含設備成本

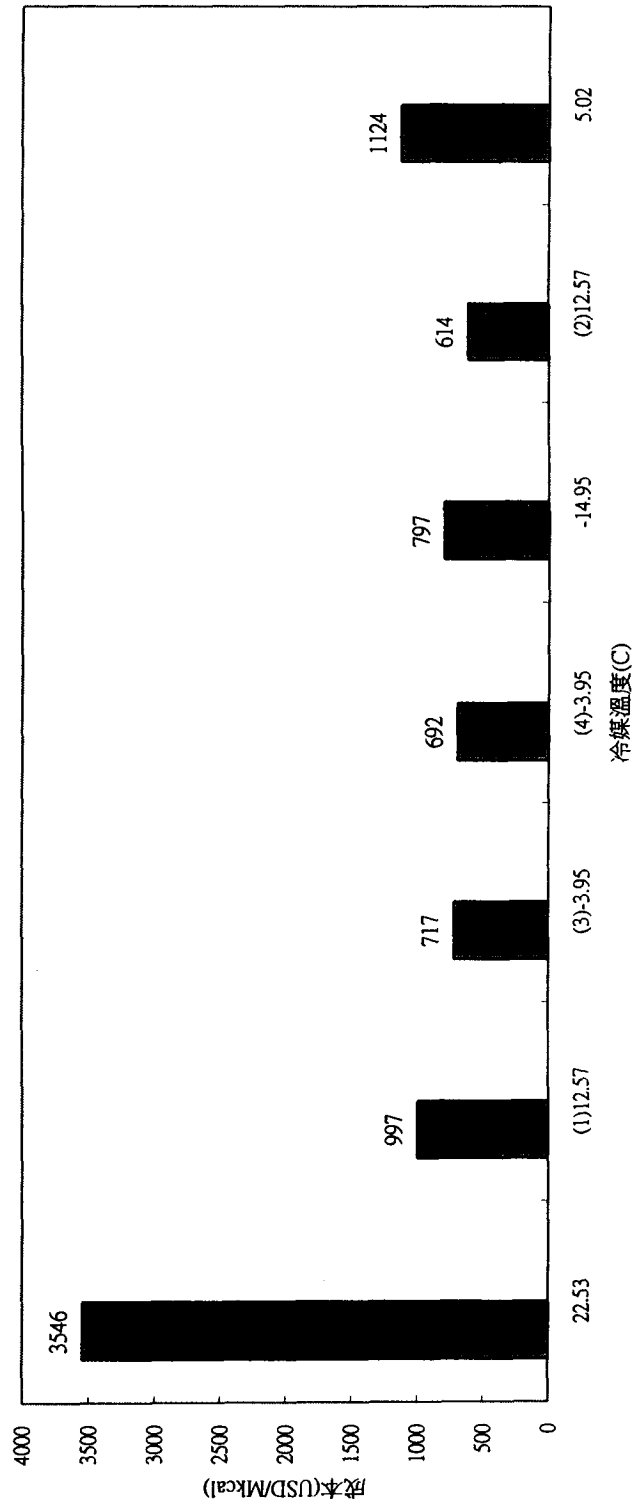
圖十三. 乙烯冷凍系統各階冷媒之可用能經濟成本



註:丙烯冷凍系統流程圖,熱交換器 21-(1),熱交換器 22-(2),熱交換器 25-(3),熱交換器 33-(4)

(a) 不含設備成本

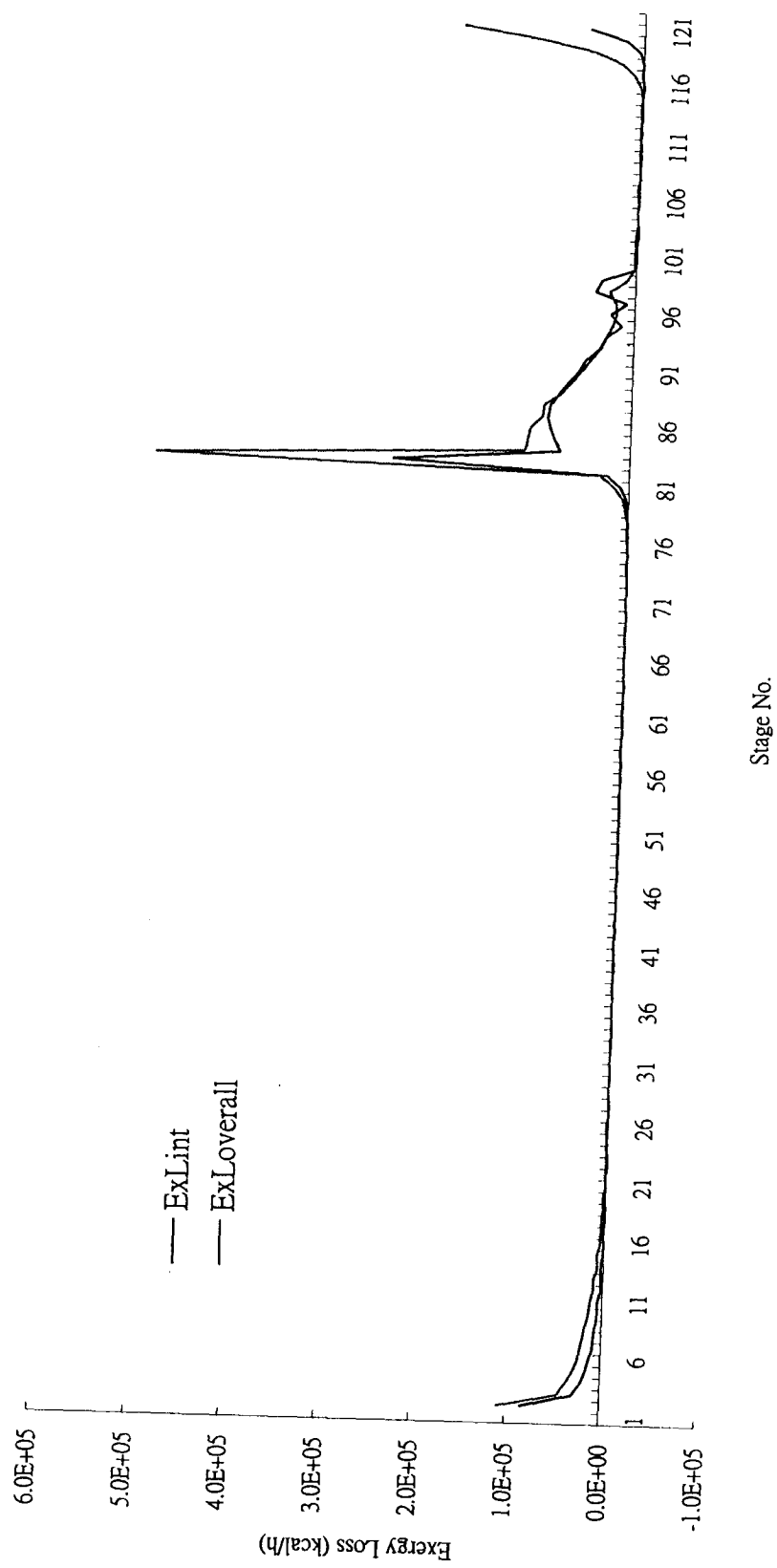
圖十四. 丙烯冷凍系統各階冷媒之可用能經濟成本



註:丙烯冷凍系統流程圖,熱交換器 21-(1),熱交換器 22-(2),熱交換器 25-(3),熱交換器 33-(4)

### (b)含設備成本

圖十四. 丙烯冷凍系統各階冷媒之可用能經濟成本



圖十五. C2 分離塔之可用能損失分佈曲線

表一.各塔之模擬輸入條件值

| 項目                         | 去甲烷塔   | 去乙烷塔                            | C2分離塔                           | 去丙烷塔                            | 去丁烷塔                            | C3分離塔                          |
|----------------------------|--|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Condenser type             | Partial  | Partial                         | Total or none                   | Total or none                   | Total or none                   | Total or none                  |
| Top pressure(kg/cm2G)      | 34.5   | 29                              | 23.1                            | 5.5                             | 4                               | 16                             |
| No. of stages              | 73   | 78                              | 122                             | 81                              | 37                              | 74                             |
| Feed stages                | 11;19;25;46  | 18;27;32                        | 83;99                           | 25;36                           | 21;25                           | 1;6                            |
| Simulation model           | Tray column mass transfer                                  | Tray column mass transfer       | Tray column mass transfer       | Tray column mass transfer       | Tray column mass transfer       | Tray column mass transfer      |
| Top Specification          | Distillate comp fraction recovery:0.99, component: Methane | Reflux ratio(R/D):0.8           | Reflux ratio(R/D):3.95          | Reflux ratio(R/D):1.44          | Reflux ratio(R/D):1.7           | No condenser                   |
| Bottom Specification       | Bottom mass flowrate: 50000kg/h                            | Bottom mass flowrate: 72000kg/h | Bottom mass flowrate: 11500kg/h | Bottom mass flowrate: 39000kg/h | Bottom mass flowrate: 15200kg/h | Bottom mass flowrate: 1300kg/h |
| Side product specification | Stream   | 16                              | 18                              | 12                              | 9                               | ...                            |
|                            | Stage  | 31                              | 98                              | 35                              | 24                              | ...                            |
|                            | Side product mode  | Liquid mole flow                | Liquid mole flow                | Liquid mole flow                | Liquid mole flow                | ...                            |
|                            | Specification  | ...                             | 4769.3kmol/h                    | 241.3kmol/h                     | 188.94kmol/h                    | ...                            |
| Tray type                  | Valve tray   | Valve tray                      | Valve tray                      | Valve tray                      | Sieve tray                      | Valve tray                     |
| Tray model                 | AICHÉ  | AICHÉ                           | AICHÉ                           | AICHÉ                           | AICHÉ                           | AICHÉ                          |
| Section 2 starting stage#  | 25   | 28                              | 84                              | 15                              | 22                              | 7                              |

表一.各塔之模擬輸入條件值(續)

| 項目                       | 去甲烷塔  | 去乙烷塔 | C2分離塔 | 去丙烷塔 | 去丁烷塔 | C3分離塔 |
|--------------------------|-------|------|-------|------|------|-------|
| Section 1                |       |      |       |      |      |       |
| Diameter(m)              | 2     | 3.3  | 4.4   | 2.2  | 2    | 5.8   |
| No. of passes            | 2     | 2    | 3     | 1    | 1    | 4     |
| Side weir width(m)       | 0.25  | 0.5  | 0.44  | 0.3  | 0.2  | 0.32  |
| Center weir width(m)     | 0.3   | 0.48 | ...   | ...  | ...  | 0.5   |
| Off-center weir width(m) | ...   | ...  | 0.42  | ...  | ...  | 0.42  |
| Off-side weir width(m)   | ...   | ...  | ...   | ...  | ...  | ...   |
| Weir height(m)           | 0.045 | 0.05 | 0.05  | 0.05 | 0.05 | 0.05  |
| Section 2                |       |      |       |      |      |       |
| Diameter(m)              | 2.9   | 3.3  | 3.3   | 2.2  | 2    | 5.8   |
| No. of passes            | 3     | 3    | 3     | 2    | 2    | 4     |
| Side weir width(m)       | 0.35  | 0.41 | 0.41  | 0.3  | 0.2  | 0.32  |
| Center weir width(m)     | ...   | ...  | ...   | 0.25 | 0.18 | 0.5   |
| Off-center weir width(m) | 0.4   | 0.46 | 0.46  | ...  | ...  | 0.42  |
| Off-side weir width(m)   | ...   | ...  | ...   | ...  | ...  | ...   |
| Weir height(m)           | 0.045 | 0.05 | 0.05  | 0.05 | 0.05 | 0.05  |

表二.各塔之冷凝汽、中間再沸器與再沸器熱負荷模擬結果與原始設計值之比較

單位: 1.0E+06 kcal/h

| 塔別    | CHMCAD™模擬結果 |       |       |       | 五輕之原始設計值 |       |       |       |
|-------|-------------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|
|       | 冷凝器         | 中間再沸器 | 再沸器   | 再沸器   | 冷凝器      | 中間再沸器 | 再沸器   | 再沸器   |
| 去甲烷塔  | 0.56        | ...   | 3.25  | 3.25  | 1.14     | ...   | 3.46  | 3.46  |
| 去乙烷塔  | 4.89        | 4.15  | 7.30  | 7.30  | 4.22     | 4.08  | 6.55  | 6.55  |
| C2分離塔 | 23.40       | 10.86 | 6.92  | 6.92  | 23.10    | 10.70 | 6.54  | 6.54  |
| 去丙烷塔  | 7.42        | 1.20  | 3.09  | 3.09  | 7.91     | 1.18  | 4.49  | 4.49  |
| 去丁烷塔  | 5.54        | 1.04  | 4.44  | 4.44  | 4.16     | 1.03  | 2.58  | 2.58  |
| C3回流塔 | 0.07        | ...   | 2.73  | 2.73  | 3.92     | ...   | 3.62  | 3.62  |
|       | 0.0040      |       |       |       | 0.13     |       |       |       |
| C3分離塔 | ...         | ...   | 21.31 | 21.31 | ...      | ...   | 28.30 | 28.30 |
|       | 24.14       | ...   | ...   | ...   | 29.36    | ...   | ...   | ...   |



表三.裂解氣體壓縮段之各單元設備之可用能損失與可用能效率

| 單元設備編號     | 可用能損失          | 可用能效率          | 效率方程式* |
|------------|----------------|----------------|--------|
| 1          | 1.16164000E+05 | 9.68586500E-01 | 5      |
| 2          | 5.06460000E+05 | 8.91333900E-01 | 5      |
| 3          | 3.87800000E+05 | 9.13364000E-01 | 5      |
| 4          | 5.96596000E+05 | 8.56217700E-01 | 5      |
| 5          | 1.31165600E+06 | 7.11964500E-01 | 5      |
| 6          | 3.57202000E+05 | 3.72757600E-01 | 5      |
| 7          | 2.60382000E+05 | 4.03871000E-01 | 5      |
| 8          | 2.75232000E+05 | 3.59830300E-01 | 5      |
| 9          | 3.23582000E+05 | 3.60418900E-01 | 5      |
| 10         | 3.50502000E+05 | 4.99099700E-01 | 5      |
| 11         | 5.48953800E+04 | 9.98851900E-01 | 4      |
| 12         | 3.80066300E+04 | 9.99422800E-01 | 4      |
| 13         | 4.48730000E+04 | 9.99375400E-01 | 4      |
| 14         | 8.94300000E+03 | 9.99876000E-01 | 4      |
| 15         | 1.14400000E+04 | 9.99840200E-01 | 4      |
| 20         | 1.45970000E+03 | 1.00000000E+00 | 5      |
| All System | 4.62730800E+06 | 9.29571900E-01 | 4      |

\* 指本文中之方程式編號

表四.去甲烷進氣處理段之各單元設備之可用能損失與可用能效率

| 單元設備編號     | 可用能損失       | 可用能效率       | 效率方程式* |
|------------|-------------|-------------|--------|
| 1          | 9.71296E+04 | 5.45336E-01 | 5      |
| 2          | 4.02301E+04 | 8.32591E-01 | 5      |
| 3          | 1.18076E+05 | 7.34563E-01 | 5      |
| 4          | 5.37090E+04 | 7.41745E-01 | 5      |
| 5          | 2.24970E+05 | 7.56112E-01 | 5      |
| 6          | 2.63411E+05 | 7.66069E-01 | 5      |
| 7          | 3.08034E+04 | 8.33754E-01 | 5      |
| 8          | 9.87270E+04 | 9.98054E-01 | 4      |
| 9          | 1.78760E+04 | 9.99410E-01 | 4      |
| 10         | 2.06950E+04 | 9.98525E-01 | 4      |
| 11         | 1.19360E+04 | 9.99760E-01 | 4      |
| 12         | 1.97000E+03 | 9.99931E-01 | 4      |
| 13         | 5.97800E+03 | 9.99561E-01 | 4      |
| 17         | 3.67600E+04 | 9.97294E-01 | 4      |
| 20         | 2.08710E+04 | 9.96881E-01 | 4      |
| 21         | 8.75690E+04 | 8.71649E-01 | 5      |
| 22         | 5.80850E+04 | 9.64976E-01 | 5      |
| 23         | 5.38870E+04 | 8.26545E-01 | 5      |
| 24         | 4.86940E+04 | 8.87509E-01 | 5      |
| 25         | 1.38000E+02 | 9.99867E-01 | 5      |
| All System | 1.29124E+06 | 9.82297E-01 | 4      |

\* 指本文中之方程式編號

表五.去甲烷段之各單元設備之可用能損失與可用能效率

| 單元設備編號     | 可用能損失      | 可用能效率      | 效率方程式* |
|------------|------------|------------|--------|
| 1          | 5.5855E+05 | 9.8743E-01 | 4      |
| 2          | 1.1481E+06 | 9.6583E-01 | 4      |
| 4          | 2.3300E+03 | 9.9637E-01 | 5      |
| 5          | 1.9630E+03 | 9.9987E-01 | 4      |
| All System | 1.7110E+06 | 9.7593E-01 | 4      |

\* 指本文中之方程式編號

表六.去乙烷與 C2 分離段之各單元設備之可用能損失與可用能效率

| 單元設備編號     | 可用能損失      | 可用能效率      | 效率方程式* |
|------------|------------|------------|--------|
| 32         | 2.7379E+06 | 9.5156E-01 | 4      |
| 3          | 1.5206E+05 | 9.9434E-01 | 4      |
| 2          | 2.8806E+06 | 9.0390E-01 | 4      |
| All System | 5.6977E+06 | 9.0766E-01 | 4      |

\* 指本文中之方程式編號

表七.去丙烷與去丁烷段之各單元設備之可用能損失與可用能效率

| 單元設備編號     | 可用能損失      | 可用能效率      | 效率方程式* |
|------------|------------|------------|--------|
| 1          | 1.1433E+06 | 9.5938E-01 | 5      |
| 2          | 1.1914E+06 | 9.3069E-01 | 5      |
| All System | 2.3347E+06 | 9.2140E-01 | 5      |

\* 指本文中之方程式編號

表八.C3 分離段之各單元設備之可用能損失與可用能效率

| 單元設備編號     | 可用能損失      | 可用能效率      | 效率方程式* |
|------------|------------|------------|--------|
| 1          | 1.9836E+05 | 9.8636E-01 | 4      |
| 3          | 4.5844E+05 | 9.9629E-01 | 4      |
| 4          | 2.5130E+03 | 9.9998E-01 | 4      |
| 5          | 4.9136E+04 | 1.0000E+00 | 5      |
| 6          | 1.1557E+06 | 9.9075E-01 | 4      |
| All System | 1.7853E+06 | 8.9317E-01 | 4      |

\* 指本文中之方程式編號

表九. 乙烯冷凍系統之各單元設備之可用能損失與可用能效率

| 單元設備編號     | 可用能損失       | 可用能效率       | 效率方程式* |
|------------|-------------|-------------|--------|
| 1          | 3.88598E+05 | 9.16116E-01 | 4      |
| 2          | 2.17890E+04 | 7.62181E-01 | 5      |
| 4          | 1.56055E+05 | 8.31845E-01 | 5      |
| 6          | 2.61330E+05 | 8.58969E-01 | 5      |
| 7          | 4.00000E+01 | 9.88701E-01 | 5      |
| 8          | 3.00000E+01 | 9.99980E-01 | 5      |
| 9          | 3.82980E+03 | 9.99980E-01 | 4      |
| 10         | 3.50000E+01 | 9.99400E-01 | 5      |
| 12         | 3.13675E+05 | 9.90523E-01 | 4      |
| 13         | 6.40400E+03 | 9.99679E-01 | 4      |
| 14         | 5.00000E+01 | 9.99946E-01 | 5      |
| 15         | 1.24089E+05 | 9.92590E-01 | 4      |
| 16         | 9.00000E+00 | 9.99999E-01 | 4      |
| 17         | 2.40000E+01 | 9.99980E-01 | 5      |
| 18         | 2.50100E+03 | 9.99461E-01 | 4      |
| 19         | 8.00000E+01 | 9.99987E-01 | 5      |
| 21         | 4.31250E+00 | 9.99977E-01 | 5      |
| All System | 1.15960E+06 | 7.43847E-01 | 4      |

\* 指本文中之方程式編號

表十. 丙烯冷凍系統之各單元設備之可用能損失與可用能效率

| 單元設備編號 | 可用能損失       | 可用能效率       | 效率方程式* |
|--------|-------------|-------------|--------|
| 1      | 2.48400E+06 | 6.41120E-01 | 4      |
| 2      | 7.58701E+05 | 7.21209E-01 | 5      |
| 4      | 6.23296E+05 | 7.39664E-01 | 5      |
| 5      | 1.00300E+03 | 9.99980E-01 | 4      |
| 6      | 7.14982E+05 | 7.57830E-01 | 5      |
| 8      | 1.10682E+06 | 7.80728E-01 | 5      |
| 9      | 4.00000E+01 | 9.99998E-01 | 5      |
| 10     | 2.29570E+05 | 9.84786E-01 | 4      |
| 11     | 1.82100E+03 | 9.99987E-01 | 4      |
| 13     | 1.00200E+03 | 9.99924E-01 | 4      |
| 14     | 2.00000E+01 | 9.99998E-01 | 5      |
| 15     | 6.97199E+05 | 9.52905E-01 | 4      |
| 16     | 1.30270E+02 | 9.99983E-01 | 4      |
| 17     | 2.60000E+01 | 9.99990E-01 | 5      |
| 18     | 3.60000E+01 | 9.99996E-01 | 4      |
| 19     | 4.49750E+03 | 9.99970E-01 | 4      |
| 20     | 1.59263E+03 | 9.99952E-01 | 4      |
| 21     | 7.50000E-01 | 9.99993E-01 | 5      |
| 22     | 3.00000E+00 | 9.99998E-01 | 5      |
| 23     | 3.85302E+05 | 9.65465E-01 | 4      |
| 24     | 1.37343E+03 | 9.99998E-01 | 4      |
| 25     | 2.81250E-01 | 9.99998E-01 | 5      |
| 27     | 6.25629E+03 | 9.99870E-01 | 4      |
| 28     | 2.03125E-01 | 9.99998E-01 | 5      |

\* 指本文中之方程式編號

表十. 丙烯冷凍系統之各單元設備之可用能損失與可用能效率(續)

| 單元設備編號     | 可用能損失       | 可用能效率       | 效率方程式* |
|------------|-------------|-------------|--------|
| 29         | 1.21241E+03 | 9.91073E-01 | 4      |
| 30         | 8.20361E+00 | 9.99942E-01 | 4      |
| 31         | 2.84313E+02 | 9.99958E-01 | 4      |
| 32         | 8.00000E+00 | 9.99997E-01 | 5      |
| 33         | 2.50000E-01 | 9.99994E-01 | 5      |
| 34         | 2.00000E+00 | 9.99997E-01 | 5      |
| 36         | 2.59793E+05 | 9.81322E-01 | 4      |
| 37         | 1.40772E+03 | 9.99882E-01 | 4      |
| 38         | 3.10547E-01 | 9.99997E-01 | 5      |
| 39         | 4.00000E+01 | 9.99998E-01 | 5      |
| All System | 7.33474E+06 | 5.18366E-01 | 4      |

\* 指本文中之方程式編號

表十一.各段製程與冷凍系統之可用能損失

| 製程           | 可用能損失      |
|--------------|------------|
| 壓縮段          | 4.6273E+06 |
| 去甲烷進氣處理段     | 1.2912E+06 |
| 去甲烷段         | 1.7110E+06 |
| 去乙烷段         | 2.7376E+06 |
| C2分離段        | 2.8806E+06 |
| 去丙烷段         | 1.1433E+06 |
| 去丁烷段         | 1.1914E+06 |
| C3分離段        | 4.5844E+05 |
| 整個製程(不含冷凍系統) | 2.2284E+07 |
| 乙烯冷凍系統       | 1.1596E+06 |
| 丙烯冷凍系統       | 7.3347E+06 |



表十二.產品之單位可用能成本與單位可用能經濟成本

| 產 品                              | 含設備成本          |                              | 不含設備成本         |                              |
|----------------------------------|----------------|------------------------------|----------------|------------------------------|
|                                  | 可用能成本<br>(exc) | 可用能經濟成本(tec)<br>(US\$/Mkcal) | 可用能成本<br>(exc) | 可用能經濟成本(tec)<br>(US\$/Mkcal) |
| Crude Hydrogen (H2)              | 1.0145E+00     | 2.3893E+02                   | 1.0145E+00     | 3.5707E+01                   |
| Methane (CH4)                    | 1.0145E+00     | 2.3893E+02                   | 1.0145E+00     | 3.5707E+01                   |
| Ethane (C2H6)                    | 1.0145E+00     | 2.3893E+02                   | 1.0145E+00     | 3.5707E+01                   |
| Ethylene (C2H4)                  | 1.2680E+00     | 1.1494E+03                   | 1.2680E+00     | 7.5522E+01                   |
| Mixed C4 Product                 | 1.1158E+00     | 1.6125E+03                   | 1.1158E+00     | 1.0735E+02                   |
| Gasoline Product                 | 1.1158E+00     | 1.6125E+03                   | 1.1158E+00     | 1.0735E+02                   |
| Purge                            | 1.0138E+00     | 1.4489E+03                   | 1.0138E+00     | 7.3795E+01                   |
| Polymer Grade Propylene Product  | 1.1219E+00     | 1.7325E+03                   | 1.1219E+00     | 7.7907E+01                   |
| Chemical Grade Propylene Product | 1.1219E+00     | 1.7325E+03                   | 1.1219E+00     | 7.7908E+01                   |
| Propane Product                  | 1.1177E+00     | 1.7050E+03                   | 1.1177E+00     | 7.7618E+01                   |

表十三(一). 乙烯冷凍系統各階冷媒之成本(含設備成本)

| 冷媒型態    | 階級(C)  | 可用能經濟成本<br>(US\$/Million Kcal) |
|---------|--------|--------------------------------|
| Cooling | -25.13 | 5.2354E+02                     |
|         | -59.5  | 4.9235E+02                     |
|         | -91.12 | 4.8480E+02                     |
|         | -99.2  | 5.3038E+02                     |
| Heating | 34.77  | 6.4417E+02                     |

表十三(二). 乙烯冷凍系統各階冷媒之成本(不含設備成本)

| 冷媒型態    | 階級(C)  | 可用能經濟成本<br>(US\$/Million Kcal) |
|---------|--------|--------------------------------|
| Cooling | -25.13 | 1.2071E+02                     |
|         | -59.5  | 1.2219E+02                     |
|         | -91.12 | 1.2349E+02                     |
|         | -99.2  | 1.3635E+02                     |
| Heating | 34.77  | 1.3399E+02                     |

表十三(三).丙烯冷凍系統各階冷媒之成本(含設備成本)

| 冷媒型態    | 階級(C)    | 可用能經濟成本<br>(US\$/Million Kcal) |
|---------|----------|--------------------------------|
| Cooling | 22.53    | 3.5459E+03                     |
|         | (1)12.57 | 9.9710E+02                     |
|         | (3)-3.95 | 7.1679E+02                     |
|         | (4)-3.95 | 6.9239E+02                     |
|         | -14.95   | 7.9656E+02                     |
| Heating | (2)12.57 | 6.1367E+02                     |
|         | 5.02     | 1.1240E+03                     |

註:丙烯冷凍系統流程圖,熱換器 21-(1),熱換器 22-(2),熱換器 25-(3),熱換器 33-(4)

表十三(四).丙烯冷凍系統各階冷媒之成本(不含設備成本)

| 冷媒型態    | 階級(C)    | 可用能經濟成本<br>(US\$/Million Kcal) |
|---------|----------|--------------------------------|
| Cooling | 22.53    | 1.2890E+02                     |
|         | (1)12.57 | 1.3525E+02                     |
|         | (3)-3.95 | 1.3677E+02                     |
|         | (4)-3.95 | 1.2035E+02                     |
|         | -14.95   | 1.3468E+02                     |
| Heating | (2)12.57 | 5.5045E+01                     |
|         | 5.02     | 7.4982E+01                     |

註:丙烯冷凍系統流程圖,熱換器 21-(1),熱換器 22-(2),熱換器 25-(3),熱換器 33-(4)

表十四. C2 分離塔之全塔本質性可用能損失與總可用能損失

|                    |                             |
|--------------------|-----------------------------|
| 本質性可用能損失 (A)       | $1.4259 \times 10^6$ kcal/h |
| 總可用能損失 (B)         | $2.2541 \times 10^6$ kcal/h |
| 非本質性可用能損失 (=B-A)   | $8.282 \times 10^5$ kcal/h  |
| 非本質性可用能損失/本質性可用能損失 | 0.581                       |
| 非本質性可用能損失/總可用能損失   | 0.367                       |

## 伍. 結論與建議

本計畫已完成五輕之乙烯產品回收與分離製程以及附屬之冷凍系統之(一)製程模擬與分析、(二)可用能分析、(三)可用能成本分析、與(四)製程改善探討。分析結果包括(一)所有製程之物流狀態資料與單元設備之成本資料、(二)各單元設備與各段製程(包括整體製程)之可用能損失與可用能效率、(三)所有物流之可用能成本與可用能經濟成本、與(四)以 C2 分離塔為例之改善效果分析。

在量化結果方面，整體製程(不含冷凍系統)、乙烯冷凍系統與丙烯冷凍系統之可用能損失分別為  $2.22 \times 10^7$  kcal/hr、 $1.16 \times 10^6$  kcal/hr 與  $7.33 \times 10^6$  kcal/hr。各項產品，如乙烯、丙烯、丙烷等，之單位可用能成本與單位可用能經濟成本則彙整於表十二。主產品乙烯之單位可用能成本與單位可用能經濟成本分別為 1.268 與 75.5 USD/Mkcal(不含設備成本)及 1150USD/Mkcal(含設備成本)。進出各段製程之物流的單位可用能經濟成本列於圖十一及圖十二。冷凍系統各階冷媒之成本資料則列於表十三。

在優先改善所在方面，就可用能損失而言，應優先考慮改善之所在為壓縮段、C2 分離塔、去乙烷塔與去甲烷段。就僅考慮能源成本之可用能經濟成本而言，應優先考慮改善之所在為去丁烷塔、C2 分

離塔、壓縮段與去丙烷塔。就同時考慮能源與設備成本之可用能經濟成本而言，應優先考慮改善之所在為去丙烷塔與 C2 分離塔。綜合上列三種分析之結果，C2 分離塔均為應優先改善之重點。

在 C2 分離塔為例之改善探討，本研究進行了該塔之本質性與非本質性可用能損失分析，結果顯示本質性與非本質性可用能損失分別佔約 2/3 與 1/3，故結構性設計與輸送現象速率之改善均應受到重視，且由分佈曲線顯示主要集中於進料塔附近，因此可考慮進料板位置或進料溫度之改變，以及在該段作塔板設計之調整。

## 參考文獻

1. Maloney, D.P. and J.R. Burton, "Using Second Law Analysis for Energy Conservation Studies in the Petrochemical Industry," Energy, Vol.5, p.925, 1980.
2. Kotas, T.J., "Exergy Method of Thermal and Chemical Plant Analysis," Chem. Eng. Res. Des., Vol. 64, p.212, 1986.
3. Tsatsaronis, G., "Thermoeconomic Analysis and Optimization of Energy Systems," Prog. Energy Combust. Sci., Vol.19, p.227, 1993.
4. Valero, A. et al., "Application of the Exergetic Cost Theory to the CGAM Problem," Energy, Vol. 19, No. 3, p.365, 1994.
5. Hsuan Chang, "Development and Application of A Conceptual Framework for Chemical Process Synthesis - Role of Exergy Methods in Process Synthesis," Dissertation for Doctor of Philosophy, 1989.
6. Lozano M.A. and A. Valero, "Methodology for Calculating Exergy in Chemical Process," ASME, WAM, AES-Vol.4, p.77, 1988.
7. 淡江大學, "應用可用能分析台灣地區之能源使用狀況," 能源研究發展基金研究報告, 1991.

8. 淡江大學, “火力發電廠之能源效率研究,” 能源研究發展基金研究報告, 1992.
9. 中油公司, 桃廠煉製操作改善及化學添加劑使用研究- 煉油程序能源計算分析(一)、(二), 1992, 1993.
10. 張煖、韓光榮, “汽電共生系統之可用能成本分析,” 第十八屆程序控制研討會論文集, p.155, 1998.
11. 張煖, 1999, “石油腦裂解廠之可用能經濟分析,” 國科會專題研究計畫, NSC 88-2218-E032-012.
12. Lincoff, A.M., “Separation System for Recovery of Ethylene and Light Products from a Naphtha-Pyrolysis Gas Stream,” CACHE Process Design Case Study Series, 1983.
13. Tait, P.G., Sketch of Thermodynamics, Edinburgh University Press, Edinburgh, England, 1868.
14. Haywood, R.W., “A Critical Review of the Theorems of Thermodynamic Availability with Concise Formulations, Part I: Availablity,” J. Mech. Eng. Sci., Vol. 16, p. 160, 1974.
15. Gaggioli, R.A., “The Concept of Available Energy,” Chem. Eng. Sci., Vol. 16, p.87, 1961.



16. Gaggioli, R.A. and Y.M. El-Sayed, "A Critical Review of Second Law Costing Methods," Proceedings, 4<sup>th</sup> International Symposium on Second Law Analysis, University of Roma, Rome, Italy, May, 1987.
17. Tsatsaronis, G., "A Review of Exergoeconomic Methodologies," Proceedings, 4<sup>th</sup> International Symposium on Second Law Analysis, University of Roma, Rome, Italy, May, 1987.
18. Tsatsaronis, G., editor, Invited Papers on Exergoeconomics, Energy, Vol. 19, No. 3, p.279, 1994.
19. Valero, A., M.A. Lozano and M. Muñoz, "A General Theory of Exergy Saving, Part I~III," *Computer-Aided Engineering of Energy System – Second Law Analysis and Modelling*, AES Vol.2-3, p. 1, 1986.
20. 莊尚智，本質性與非本質性不可逆程度之定義與分析，淡江大學化工所碩士論文，2001.

## 附錄一．物流狀態資料

### 一．裂解氣體壓縮段之各物流狀態

| 物流  | 流量(kmol/h) | 溫度(C)      | 壓力<br>(kg/cm2G) | 氣相比        | 熱焓(kcal/h)  | 熵(kcal/K/h) |
|-----|------------|------------|-----------------|------------|-------------|-------------|
| 1   | 8.3540E+03 | 1.7000E+01 | 4.0000E+01      | 8.6390E-01 | -2.6030E+06 | -1.9520E+05 |
| 2   | 8.8574E+03 | 7.3172E+01 | 1.6400E+00      | 1.0000E+00 | -9.9290E+06 | -1.3120E+05 |
| 3   | 8.8574E+03 | 2.9000E+01 | 1.6400E+00      | 9.7450E-01 | -1.6700E+07 | -1.5200E+05 |
| 4   | 9.2145E+03 | 2.5564E+01 | 1.6400E+00      | 9.4540E-01 | -2.2940E+07 | -1.7580E+05 |
| 5   | 8.7112E+03 | 2.5564E+01 | 1.6400E+00      | 1.0000E+00 | 8.1890E+05  | -1.4360E+05 |
| 6   | 5.0336E+02 | 2.5564E+01 | 1.6400E+00      | 0.0000E+00 | -2.3760E+07 | -3.2260E+04 |
| 7   | 8.7112E+03 | 7.3824E+01 | 4.6000E+00      | 1.0000E+00 | 5.4800E+06  | -1.4190E+05 |
| 8   | 8.7112E+03 | 3.0000E+01 | 4.6000E+00      | 9.8330E-01 | -1.4460E+05 | -1.5930E+05 |
| 9   | 8.9910E+03 | 2.7755E+01 | 4.6000E+00      | 9.6030E-01 | -2.6390E+06 | -1.7710E+05 |
| 10  | 8.6338E+03 | 2.7755E+01 | 4.6000E+00      | 1.0000E+00 | 3.6030E+06  | -1.5310E+05 |
| 11  | 3.5714E+02 | 2.7755E+01 | 4.6000E+00      | 0.0000E+00 | -6.2420E+06 | -2.4050E+04 |
| 12  | 8.6338E+03 | 7.5877E+01 | 1.0800E+01      | 1.0000E+00 | 8.0790E+06  | -1.5180E+05 |
| 13  | 8.6338E+03 | 3.5000E+01 | 1.0800E+01      | 9.8660E-01 | 3.1470E+06  | -1.6690E+05 |
| 14  | 8.8741E+03 | 3.2830E+01 | 1.0800E+01      | 9.6850E-01 | 1.5780E+06  | -1.8180E+05 |
| 15  | 8.5943E+03 | 3.2830E+01 | 1.0800E+01      | 1.0000E+00 | 4.0730E+06  | -1.6380E+05 |
| 16  | 2.7985E+02 | 3.2830E+01 | 1.0800E+01      | 0.0000E+00 | -2.4950E+06 | -1.7980E+04 |
| 17  | 8.5943E+03 | 7.9025E+01 | 2.1600E+01      | 1.0000E+00 | 8.2220E+06  | -1.6180E+05 |
| 18  | 8.5943E+03 | 3.5000E+01 | 2.1600E+01      | 9.7200E-01 | 2.4090E+06  | -1.7960E+05 |
| 19  | 8.3540E+03 | 3.5000E+01 | 2.1600E+01      | 1.0000E+00 | 3.9780E+06  | -1.6460E+05 |
| 20  | 2.4029E+02 | 3.5000E+01 | 2.1600E+01      | 0.0000E+00 | -1.5690E+06 | -1.5030E+04 |
| 21  | 8.3540E+03 | 8.8256E+01 | 4.0000E+01      | 1.0000E+00 | 8.5320E+06  | -1.6020E+05 |
| 22  | 7.2170E+03 | 1.7000E+01 | 4.0000E+01      | 1.0000E+00 | -7.1650E+05 | -1.3500E+05 |
| 23  | 1.1370E+03 | 1.7000E+01 | 4.0000E+01      | 0.0000E+00 | -1.8860E+06 | -6.0160E+04 |
| 31  | 5.0336E+02 | 2.5608E+01 | 3.8670E+00      | 0.0000E+00 | -2.3760E+07 | -3.2260E+04 |
| 149 | 8.8574E+03 | 3.6000E+01 | 4.0000E-01      | 1.0000E+00 | -1.3630E+07 | -1.3160E+05 |

二. 去甲烷進氣處理段之各物流狀態

| 物流 | 流量(kmol/h) | 溫度(C)       | 壓力<br>(kg/cm2G) | 氣相比        | 熱焓(kcal/h)  | 熵(kcal/K/h) |
|----|------------|-------------|-----------------|------------|-------------|-------------|
| 1  | 5.7195E+03 | 1.7000E+01  | 4.0000E+01      | 1.0000E+00 | -7.6420E+06 | -1.2610E+05 |
| 2  | 4.6642E+03 | 1.7000E+01  | 4.0000E+01      | 1.0000E+00 | -6.2320E+06 | -1.0280E+05 |
| 3  | 4.6642E+03 | 0.0000E+00  | 4.0000E+01      | 9.0780E-01 | -8.2920E+06 | -1.1010E+05 |
| 4  | 4.6642E+03 | -1.1000E+01 | 4.0000E+01      | 8.1980E-01 | -9.8510E+06 | -1.1600E+05 |
| 5  | 2.6499E+02 | -3.9000E+01 | 7.2250E+00      | 0.0000E+00 | -6.3470E+06 | -1.6380E+04 |
| 6  | 4.6642E+03 | -2.4000E+01 | 4.0000E+01      | 6.9590E-01 | -1.1820E+07 | -1.2370E+05 |
| 7  | 1.0553E+03 | 1.7000E+01  | 4.0000E+01      | 1.0000E+00 | -1.4100E+06 | -2.3260E+04 |
| 8  | 2.6499E+02 | -3.9000E+01 | 7.2250E+00      | 9.6610E-01 | -5.5830E+06 | -1.3120E+04 |
| 9  | 4.6642E+03 | -2.9000E+01 | 4.0000E+01      | 6.4620E-01 | -1.2590E+07 | -1.2680E+05 |
| 10 | 5.7195E+03 | -3.0077E+01 | 3.8100E+01      | 6.5180E-01 | -1.5430E+07 | -1.5510E+05 |
| 11 | 3.7281E+03 | -3.0077E+01 | 3.8100E+01      | 1.0000E+00 | -1.5480E+07 | -7.5150E+04 |
| 12 | 2.9936E+03 | -3.0077E+01 | 3.8100E+01      | 1.0000E+00 | -1.2430E+07 | -6.0340E+04 |
| 13 | 2.9936E+03 | -5.6000E+01 | 3.8100E+01      | 7.5640E-01 | -1.4720E+07 | -7.0360E+04 |
| 14 | 2.9936E+03 | -7.9000E+01 | 3.8100E+01      | 5.4630E-01 | -1.6660E+07 | -7.9760E+04 |
| 15 | 3.7281E+03 | -7.9267E+01 | 3.7400E+01      | 5.4830E-01 | -2.0750E+07 | -9.9260E+04 |
| 16 | 7.3443E+02 | -3.0077E+01 | 3.8100E+01      | 1.0000E+00 | -3.0490E+06 | -1.4800E+04 |
| 17 | 2.0442E+03 | -7.9267E+01 | 3.7400E+01      | 1.0000E+00 | -1.5200E+07 | -3.7470E+04 |
| 18 | 7.6250E+02 | -7.9267E+01 | 3.7400E+01      | 1.0000E+00 | -5.6710E+06 | -1.3970E+04 |
| 19 | 7.6250E+02 | -9.5000E+01 | 3.7400E+01      | 8.9880E-01 | -5.9220E+06 | -1.5330E+04 |
| 20 | 1.2817E+03 | -7.9267E+01 | 3.7400E+01      | 1.0000E+00 | -9.5320E+06 | -2.3490E+04 |
| 21 | 2.0442E+03 | -9.5278E+01 | 3.6700E+01      | 8.9940E-01 | -1.5880E+07 | -4.1040E+04 |
| 22 | 1.4775E+02 | -1.6100E+02 | 3.6700E+01      | 0.0000E+00 | -3.0420E+06 | -6.4620E+03 |
| 23 | 1.7495E+03 | -1.3900E+02 | 4.1000E+00      | 1.0000E+00 | -3.0500E+07 | -4.6190E+04 |
| 24 | 1.1649E+03 | -1.3900E+02 | 3.6700E+01      | 1.0000E+00 | -4.8150E+06 | -1.7370E+04 |
| 26 | 1.9915E+03 | -3.0077E+01 | 3.8100E+01      | 0.0000E+00 | 4.4650E+04  | -7.9990E+04 |
| 30 | 1.6838E+03 | -7.9267E+01 | 3.7400E+01      | 0.0000E+00 | -5.5440E+06 | -6.1790E+04 |
| 31 | 2.0568E+02 | -9.5278E+01 | 3.6700E+01      | 0.0000E+00 | -1.2480E+06 | -7.5140E+03 |
| 32 | 6.7371E+02 | -1.3900E+02 | 3.6700E+01      | 0.0000E+00 | -1.1550E+07 | -2.7370E+04 |
| 33 | 1.8386E+03 | -9.5278E+01 | 3.6700E+01      | 1.0000E+00 | -1.4630E+07 | -3.3520E+04 |

二. 去甲烷進氣處理段之各物流狀態(續)

| 物流 | 流量(kmol/h) | 溫度(C)       | 壓力<br>(kg/cm <sup>2</sup> G) | 氣相比        | 熱焓(kcal/h)  | 熵(kcal/K/h) |
|----|------------|-------------|------------------------------|------------|-------------|-------------|
| 34 | 1.1649E+03 | -1.6100E+02 | 3.6700E+01                   | 8.7320E-01 | -5.2340E+06 | -2.0780E+04 |
| 35 | 2.6499E+02 | 1.2000E+01  | 7.2250E+00                   | 1.0000E+00 | -5.3860E+06 | -1.2340E+04 |
| 36 | 1.0553E+03 | -2.9000E+01 | 4.0000E+01                   | 6.4620E-01 | -2.8480E+06 | -2.8680E+04 |
| 37 | 7.3443E+02 | -7.9000E+01 | 3.8100E+01                   | 5.4630E-01 | -4.0870E+06 | -1.9570E+04 |
| 38 | 1.2817E+03 | -9.5000E+01 | 3.7400E+01                   | 8.9880E-01 | -9.9550E+06 | -2.5770E+04 |
| 39 | 1.8386E+03 | -1.3900E+02 | 3.6700E+01                   | 6.3360E-01 | -1.6360E+07 | -4.4750E+04 |
| 40 | 6.7371E+02 | -1.0500E+02 | 3.6700E+01                   | 7.5500E-03 | -1.1180E+07 | -2.4960E+04 |
| 41 | 1.0171E+03 | -1.6100E+02 | 3.6700E+01                   | 1.0000E+00 | -2.1920E+06 | -1.4310E+04 |
| 42 | 1.4775E+02 | -1.4400E+02 | 3.6700E+01                   | 0.0000E+00 | -3.0070E+06 | -6.1710E+03 |
| 43 | 1.4775E+02 | -1.0500E+02 | 3.6700E+01                   | 0.0000E+00 | -2.9110E+06 | -5.5270E+03 |
| 44 | 1.4775E+02 | -8.4000E+01 | 3.6700E+01                   | 1.0000E+00 | -2.7280E+06 | -4.5040E+03 |
| 45 | 1.4775E+02 | -3.4000E+01 | 3.6700E+01                   | 1.0000E+00 | -2.6420E+06 | -4.0980E+03 |
| 46 | 1.4775E+02 | 1.2000E+01  | 3.6700E+01                   | 1.0000E+00 | -2.5760E+06 | -3.8450E+03 |
| 47 | 1.0171E+03 | -1.4400E+02 | 3.6700E+01                   | 1.0000E+00 | -2.0780E+06 | -1.3370E+04 |
| 48 | 1.0171E+03 | -1.0500E+02 | 3.6700E+01                   | 1.0000E+00 | -1.8210E+06 | -1.1630E+04 |
| 49 | 1.0171E+03 | -8.4000E+01 | 3.6700E+01                   | 1.0000E+00 | -1.6830E+06 | -1.0860E+04 |
| 50 | 1.0171E+03 | -3.4000E+01 | 3.6700E+01                   | 1.0000E+00 | -1.3510E+06 | -9.3000E+03 |
| 51 | 1.0171E+03 | 1.2000E+01  | 3.6700E+01                   | 1.0000E+00 | -1.0390E+06 | -8.1070E+03 |
| 52 | 1.7495E+03 | -1.0500E+02 | 4.1000E+00                   | 1.0000E+00 | -3.0010E+07 | -4.2960E+04 |
| 53 | 1.7495E+03 | -8.4000E+01 | 4.1000E+00                   | 1.0000E+00 | -2.9720E+07 | -4.1310E+04 |
| 54 | 1.7495E+03 | -3.4000E+01 | 4.1000E+00                   | 1.0000E+00 | -2.9010E+07 | -3.8000E+04 |
| 55 | 1.7495E+03 | 1.2000E+01  | 4.1000E+00                   | 1.0000E+00 | -2.8340E+07 | -3.5450E+04 |

三. 去甲烷段之各物流狀態

| 物流 | 流量<br>(kmol/h) | 溫度(C)       | 壓力<br>(kg/cm2G) | 氣相比        | 熱焓(kcal/h)  | 熵(kcal/K/h) |
|----|----------------|-------------|-----------------|------------|-------------|-------------|
| 1  | 1.9915E+03     | -3.0077E+01 | 3.8100E+01      | 0.0000E+00 | 4.4650E+04  | -7.9990E+04 |
| 2  | 1.4093E+03     | 1.7000E+01  | 4.0000E+01      | 1.2680E-04 | -3.6210E+06 | -7.3920E+04 |
| 3  | 2.6335E+03     | 4.3639E+01  | 3.8100E+01      | 3.5830E-04 | 4.5310E+06  | -1.1890E+05 |
| 4  | 7.6725E+02     | -2.0642E+01 | 3.8100E+01      | 9.5390E-01 | -3.6530E+06 | -1.9370E+04 |
| 5  | 1.6838E+03     | -7.9267E+01 | 3.7400E+01      | 0.0000E+00 | -5.5440E+06 | -6.1790E+04 |
| 6  | 2.0568E+02     | -9.5278E+01 | 3.6700E+01      | 0.0000E+00 | -1.2480E+06 | -7.5140E+03 |
| 7  | 6.7371E+02     | -1.0500E+02 | 3.6700E+01      | 7.5490E-03 | -1.1180E+07 | -2.4960E+04 |
| 8  | 1.7000E+03     | -1.4290E+00 | 3.4500E+01      | 1.6580E-04 | 1.0230E+07  | -5.3840E+04 |
| 9  | 1.6305E+03     | -9.3466E+01 | 3.4500E+01      | 9.9990E-01 | -2.9160E+07 | -4.9140E+04 |
| 10 | 1.6305E+03     | -1.3733E+02 | 4.5000E+00      | 7.8680E-01 | -2.9800E+07 | -4.9140E+04 |
| 11 | 1.2829E+03     | -1.3733E+02 | 4.5000E+00      | 1.0000E+00 | -2.2850E+07 | -3.4560E+04 |
| 12 | 3.4761E+02     | -1.3733E+02 | 4.5000E+00      | 0.0000E+00 | -6.9520E+06 | -1.4580E+04 |

四. 去乙烷與 C2 分離段之各物流狀態

| 物流 | 流量<br>(kmol/h) | 溫度(C)       | 壓力<br>(kg/cm2G) | 氣相比        | 熱焓(kcal/h)  | 熵(kcal/K/h) |
|----|----------------|-------------|-----------------|------------|-------------|-------------|
| 1  | 1.7000E+03     | -1.4290E+00 | 3.4500E+01      | 1.7010E-04 | 1.0230E+07  | -5.3840E+04 |
| 2  | 2.6335E+03     | 4.3639E+01  | 3.8100E+01      | 3.5830E-04 | 4.5310E+06  | -1.1890E+05 |
| 3  | 1.4270E+03     | 9.7622E+01  | 2.9000E+01      | 1.7970E-03 | 1.0840E+06  | -7.9880E+04 |
| 4  | 2.9066E+03     | -4.0910E+00 | 2.9000E+01      | 1.0000E+00 | 2.0350E+07  | -7.2930E+04 |
| 6  | 2.2891E+03     | -2.3831E+01 | 2.3100E+01      | 2.2340E-03 | 1.6820E+07  | -7.1000E+04 |
| 7  | 3.2915E+02     | 1.7394E+01  | 2.3100E+01      | 3.5050E-05 | -4.1100E+06 | -1.7300E+04 |
| 8  | 1.4270E+03     | 6.4141E+01  | 1.3300E+01      | 3.8410E-01 | 1.0840E+06  | -7.9370E+04 |

五. 去丙烷與去丁烷段之各物流狀態

| 物流 | 流量<br>(kmol/h) | 溫度(C)      | 壓力<br>(kg/cm2G) | 氣相比        | 熱焓(kcal/h)  | 熵(kcal/K/h) |
|----|----------------|------------|-----------------|------------|-------------|-------------|
| 1  | 1.4270E+03     | 6.4141E+01 | 1.3300E+01      | 3.8410E-01 | 1.0840E+06  | -7.9370E+04 |
| 2  | 6.4323E+02     | 6.5230E+01 | 5.5000E+00      | 0.0000E+00 | -3.8570E+06 | -5.0500E+04 |
| 3  | 7.8373E+02     | 4.1640E+00 | 5.5000E+00      | 0.0000E+00 | 1.8130E+06  | -4.0380E+04 |
| 6  | 4.3256E+02     | 4.3618E+01 | 4.0000E+00      | 0.0000E+00 | 4.2140E+06  | -2.5690E+04 |
| 8  | 2.1067E+02     | 9.1575E+01 | 4.0000E+00      | 0.0000E+00 | -8.1310E+06 | -2.5830E+04 |

六. C3 分離段之各物流狀態

| 物流 | 流量<br>(kmol/h) | 溫度(C)      | 壓力<br>(kg/cm2G) | 氣相比        | 熱焓(kcal/h)  | 熵(kcal/K/h) |
|----|----------------|------------|-----------------|------------|-------------|-------------|
| 1  | 9.0885E+02     | 4.4000E+01 | 1.8000E+01      | 0.0000E+00 | 6.3140E+05  | -4.5400E+04 |
| 2  | 9.6830E+00     | 4.4196E+01 | 1.7700E+01      | 0.0000E+00 | 8.2820E+03  | -4.8160E+02 |
| 3  | 1.0231E+01     | 6.2051E+01 | 1.7700E+01      | 0.0000E+00 | -1.9740E+04 | -5.8450E+02 |
| 4  | 8.8894E+02     | 4.4561E+01 | 1.7700E+01      | 1.0000E+00 | 3.3040E+06  | -3.5980E+04 |
| 5  | 2.9090E+01     | 4.8146E+01 | 1.6000E+01      | 0.0000E+00 | -4.2170E+05 | -1.9030E+03 |
| 6  | 5.5231E+02     | 3.7988E+01 | 1.5300E+01      | 0.0000E+00 | 7.3270E+05  | -2.7540E+04 |
| 7  | 7.8179E+03     | 3.9962E+01 | 1.6000E+01      | 1.0000E+00 | 2.9630E+07  | -3.1530E+05 |
| 8  | 6.9581E+03     | 3.9700E+01 | 1.5900E+01      | 0.0000E+00 | 4.5450E+06  | -3.4940E+05 |
| 9  | 3.0452E+02     | 3.9700E+01 | 1.5900E+01      | 0.0000E+00 | 1.9890E+05  | -1.5290E+04 |
| 10 | 7.2626E+03     | 3.9700E+01 | 1.5900E+01      | 0.0000E+00 | 4.7430E+06  | -3.6470E+05 |
| 11 | 6.9581E+03     | 4.0148E+01 | 1.9300E+01      | 0.0000E+00 | 4.5940E+06  | -3.4950E+05 |

七. 乙烯冷凍系統之各物流狀態

| 物流 | 流量(kmol/h) | 溫度(C)       | 壓力<br>(kg/cm2G) | 氣相比        | 熱焓(kcal/h) | 熵(kcal/K/h) |
|----|------------|-------------|-----------------|------------|------------|-------------|
| 1  | 2.6734E+01 | -5.0000E+01 | 3.0000E-01      | 1.0000E+00 | 3.1420E+05 | -4.2890E+02 |
| 2  | 5.1686E+02 | -9.9200E+01 | 2.9000E-01      | 1.0000E+00 | 5.8520E+06 | -9.4130E+03 |
| 3  | 8.0546E+01 | -9.9202E+01 | 2.9000E-01      | 0.0000E+00 | 6.5190E+05 | -2.9620E+03 |
| 4  | 8.0546E+01 | -9.9199E+01 | 2.9000E-01      | 1.0000E+00 | 9.1190E+05 | -1.4670E+03 |
| 5  | 5.1686E+02 | -7.6993E+01 | 1.0000E+00      | 1.0000E+00 | 5.9430E+06 | -9.3420E+03 |
| 6  | 1.4162E+03 | -8.5862E+01 | 1.0000E+00      | 1.0000E+00 | 1.6170E+07 | -2.6180E+04 |
| 7  | 1.4162E+03 | -6.7350E+00 | 6.8000E+00      | 1.0000E+00 | 1.7100E+07 | -2.5650E+04 |
| 8  | 3.1090E+03 | -3.5193E+01 | 6.8000E+00      | 1.0000E+00 | 3.6630E+07 | -5.9900E+04 |
| 9  | 3.1090E+03 | 3.7319E+01  | 2.1700E+01      | 1.0000E+00 | 3.8490E+07 | -5.9000E+04 |
| 10 | 3.1090E+03 | 3.4887E+01  | 2.1700E+01      | 1.0000E+00 | 3.8400E+07 | -5.9290E+04 |
| 11 | 3.1090E+03 | -2.6625E+01 | 2.1700E+01      | 0.0000E+00 | 2.9640E+07 | -9.3630E+04 |
| 12 | 1.7034E+01 | -2.5131E+01 | 2.1700E+01      | 0.0000E+00 | 1.6240E+05 | -5.1300E+02 |
| 13 | 3.0922E+03 | -2.6625E+01 | 2.1700E+01      | 0.0000E+00 | 2.9480E+07 | -9.3130E+04 |
| 14 | 1.7034E+01 | -2.5129E+01 | 2.1700E+01      | 1.0000E+00 | 1.9740E+05 | -3.7190E+02 |
| 15 | 3.1092E+03 | -2.6143E+01 | 2.1700E+01      | 0.0000E+00 | 2.9680E+07 | -9.3500E+04 |
| 16 | 1.6777E+03 | -5.9502E+01 | 6.8000E+00      | 1.0000E+00 | 1.9360E+07 | -3.4140E+04 |
| 17 | 2.2825E+03 | -5.9502E+01 | 6.8000E+00      | 0.0000E+00 | 2.0040E+07 | -7.5950E+04 |
| 18 | 8.5090E+02 | -5.9503E+01 | 6.8000E+00      | 0.0000E+00 | 7.4690E+06 | -2.8310E+04 |
| 19 | 8.5090E+02 | -5.9500E+01 | 6.8000E+00      | 1.0000E+00 | 9.8190E+06 | -1.7310E+04 |
| 20 | 2.6734E+01 | -5.9502E+01 | 6.8000E+00      | 0.0000E+00 | 2.3470E+05 | -8.8960E+02 |
| 21 | 1.4048E+03 | -5.9502E+01 | 6.8000E+00      | 0.0000E+00 | 1.2330E+07 | -4.6750E+04 |
| 22 | 8.9034E+02 | -9.1122E+01 | 1.0000E+00      | 1.0000E+00 | 1.0130E+07 | -1.6680E+04 |
| 23 | 1.1527E+03 | -9.1122E+01 | 1.0000E+00      | 1.0000E+00 | 9.4810E+06 | -4.1540E+04 |
| 24 | 6.3823E+02 | -9.1124E+01 | 1.0000E+00      | 1.0000E+00 | 5.2490E+06 | -2.3000E+04 |
| 25 | 6.3823E+02 | -9.1121E+01 | 1.0000E+00      | 1.0000E+00 | 7.2590E+06 | -1.1960E+04 |
| 26 | 5.1448E+02 | -9.1122E+01 | 1.0000E+00      | 1.0000E+00 | 4.2320E+06 | -1.8540E+04 |
| 27 | 3.6198E+02 | -9.1124E+01 | 1.0000E+00      | 0.0000E+00 | 2.9770E+06 | -1.3040E+04 |
| 28 | 1.5250E+02 | -9.1122E+01 | 1.0000E+00      | 0.0000E+00 | 1.2540E+06 | -5.4950E+03 |
| 29 | 3.6198E+02 | -9.1121E+01 | 1.0000E+00      | 1.0000E+00 | 4.1170E+06 | -6.7810E+03 |
| 30 | 5.1448E+02 | -9.1122E+01 | 1.0000E+00      | 1.0000E+00 | 5.3720E+06 | -1.2280E+04 |



八. 丙烯冷凍系統之各物流狀態

| 物流 | 流量(kmol/h) | 溫度(C)       | 壓力<br>(kg/cm2G) | 氣相比        | 熱焓(kcal/h) | 熵(kcal/K/h) |
|----|------------|-------------|-----------------|------------|------------|-------------|
| 1  | 8.4047E+03 | -2.9181E+01 | 1.2000E+00      | 1.0000E+00 | 3.2430E+07 | 6.0510E+04  |
| 2  | 8.4047E+03 | -3.5810E+00 | 2.7000E+00      | 1.0000E+00 | 3.5150E+07 | 6.3050E+04  |
| 3  | 1.0615E+04 | -5.9440E+00 | 2.7000E+00      | 1.0000E+00 | 4.4020E+07 | 7.8240E+04  |
| 4  | 1.0615E+04 | 1.1638E+01  | 4.2000E+00      | 1.0000E+00 | 4.6420E+07 | 8.0350E+04  |
| 5  | 8.3625E+03 | 1.1638E+01  | 4.2000E+00      | 1.0000E+00 | 3.6570E+07 | 6.3300E+04  |
| 6  | 8.3625E+03 | 3.8797E+01  | 7.6000E+00      | 1.0000E+00 | 3.9520E+07 | 6.5690E+04  |
| 7  | 1.0984E+04 | 3.2605E+01  | 7.6000E+00      | 1.0000E+00 | 5.0750E+07 | 8.2530E+04  |
| 8  | 1.0984E+04 | 6.9099E+01  | 1.5200E+01      | 1.0000E+00 | 5.5800E+07 | 8.6250E+04  |
| 9  | 1.0984E+04 | 3.7000E+01  | 1.5200E+01      | 0.0000E+00 | 1.4540E+07 | -4.5460E+04 |
| 10 | 1.0984E+04 | 2.2534E+01  | 1.0200E+01      | 1.2150E-01 | 1.4540E+07 | -4.4690E+04 |
| 11 | 1.2427E+03 | 2.2534E+01  | 1.0200E+01      | 1.0000E+00 | 5.4300E+06 | 7.7440E+03  |
| 12 | 9.7410E+03 | 2.2534E+01  | 1.0200E+01      | 0.0000E+00 | 8.7940E+06 | -5.3500E+04 |
| 13 | 3.4743E+03 | 2.2534E+01  | 1.0200E+01      | 0.0000E+00 | 3.1360E+06 | -1.9080E+04 |
| 14 | 3.4743E+03 | 2.2534E+01  | 1.0200E+01      | 9.9960E-01 | 1.5180E+07 | 2.1640E+04  |
| 15 | 6.2667E+03 | 2.2534E+01  | 1.0200E+01      | 0.0000E+00 | 5.6570E+06 | -3.4420E+04 |
| 16 | 4.7169E+03 | 2.2534E+01  | 1.0200E+01      | 9.9970E-01 | 2.0610E+07 | 2.9380E+04  |
| 17 | 5.3426E+03 | 1.2572E+01  | 7.6000E+00      | 1.0000E+00 | 2.2890E+07 | 3.4080E+04  |
| 18 | 5.6739E+03 | 1.2572E+01  | 7.6000E+00      | 0.0000E+00 | 3.5750E+06 | -3.6380E+04 |
| 19 | 3.2841E+01 | 1.2572E+01  | 7.6000E+00      | 0.0000E+00 | 2.0690E+04 | -2.1060E+02 |
| 20 | 3.2841E+01 | 1.2572E+01  | 7.6000E+00      | 9.9970E-01 | 1.4070E+05 | 2.0940E+02  |
| 21 | 2.6211E+03 | 1.2572E+01  | 7.6000E+00      | 1.0000E+00 | 1.1230E+07 | 1.6720E+04  |
| 22 | 2.7214E+03 | 1.2572E+01  | 7.6000E+00      | 1.0000E+00 | 1.1660E+07 | 1.7360E+04  |
| 23 | 5.6410E+03 | 1.2572E+01  | 7.6000E+00      | 0.0000E+00 | 3.5540E+06 | -3.6170E+04 |
| 24 | 2.6221E+03 | 1.2572E+01  | 7.6000E+00      | 1.0000E+00 | 1.1240E+07 | 1.6730E+04  |
| 25 | 9.9332E+01 | 1.2572E+01  | 7.6000E+00      | 1.0000E+00 | 4.2560E+05 | 6.3370E+02  |
| 26 | 7.1961E+02 | 1.2572E+01  | 7.6000E+00      | 0.0000E+00 | 4.5340E+05 | -4.6140E+03 |

八. 丙烯冷凍系統之各物流狀態(續)

| 物流 | 流量(kmol/h) | 溫度(C)       | 壓力<br>(kg/cm <sup>2</sup> G) | 氣相比        | 熱焓(kcal/h)  | 熵(kcal/K/h) |
|----|------------|-------------|------------------------------|------------|-------------|-------------|
| 27 | 7.1961E+02 | 1.2573E+01  | 7.6000E+00                   | 1.0000E+00 | 3.0830E+06  | 4.5910E+03  |
| 28 | 4.9214E+03 | 1.2572E+01  | 7.6000E+00                   | 0.0000E+00 | 3.1010E+06  | -3.1560E+04 |
| 29 | 2.6221E+03 | 6.2590E+00  | 7.6000E+00                   | 0.0000E+00 | 1.2150E+06  | -1.8360E+04 |
| 30 | 1.6407E+03 | -3.9560E+00 | 4.3000E+00                   | 1.0000E+00 | 6.7710E+06  | 1.0910E+04  |
| 31 | 2.2528E+03 | 1.1638E+01  | 4.2000E+00                   | 1.0000E+00 | 9.8510E+06  | 1.7050E+04  |
| 32 | 3.8935E+03 | 5.0250E+00  | 4.2000E+00                   | 1.0000E+00 | 1.6620E+07  | 2.8040E+04  |
| 33 | 6.6505E+03 | -3.9560E+00 | 4.3000E+00                   | 0.0000E+00 | 1.3490E+06  | -5.2730E+04 |
| 34 | 2.8041E+01 | -3.9560E+00 | 4.3000E+00                   | 0.0000E+00 | 5.6890E+03  | -2.2230E+02 |
| 35 | 2.8041E+01 | -3.9550E+00 | 4.3000E+00                   | 1.0000E+00 | 1.1570E+05  | 1.8650E+02  |
| 36 | 9.9332E+01 | 6.0980E+00  | 7.6000E+00                   | 0.0000E+00 | 4.5620E+04  | -6.9700E+02 |
| 37 | 3.8759E+03 | 5.0250E+00  | 4.2000E+00                   | 1.0000E+00 | 1.6550E+07  | 2.7910E+04  |
| 38 | 9.9332E+01 | -3.9560E+00 | 4.3000E+00                   | 6.5350E-02 | 4.5630E+04  | -6.9290E+02 |
| 39 | 6.6224E+03 | -3.9560E+00 | 4.3000E+00                   | 0.0000E+00 | 1.3440E+06  | -5.2510E+04 |
| 40 | 3.8759E+03 | -4.5650E+00 | 4.2000E+00                   | 3.9960E-02 | 1.3370E+06  | -2.8680E+04 |
| 41 | 1.7666E+01 | 5.0250E+00  | 4.2000E+00                   | 1.0000E+00 | 7.5420E+04  | 1.2720E+02  |
| 42 | 5.1470E+00 | -3.9560E+00 | 4.3000E+00                   | 0.0000E+00 | 1.0440E+03  | -4.0810E+01 |
| 43 | 6.6173E+03 | -3.9560E+00 | 4.3000E+00                   | 0.0000E+00 | 1.3430E+06  | -5.2470E+04 |
| 44 | 1.0448E+02 | -3.9560E+00 | 4.3000E+00                   | 6.2130E-02 | 4.6670E+04  | -7.3370E+02 |
| 45 | 1.0448E+02 | 1.1711E+01  | 4.3000E+00                   | 1.0000E+00 | 4.5670E+05  | 7.8670E+02  |
| 46 | 6.6173E+03 | -3.9560E+00 | 4.3000E+00                   | 2.3300E-01 | 7.3930E+06  | -2.9990E+04 |
| 47 | 6.7394E+03 | -4.5650E+00 | 4.2000E+00                   | 2.5130E-01 | 7.9250E+06  | -2.9010E+04 |
| 48 | 2.2106E+03 | -1.4948E+01 | 2.7000E+00                   | 1.0000E+00 | 8.8720E+06  | 1.5170E+04  |
| 49 | 8.4243E+03 | -1.4948E+01 | 2.7000E+00                   | 0.0000E+00 | -5.6170E+05 | -7.5310E+04 |
| 50 | 1.9608E+01 | -1.4948E+01 | 2.7000E+00                   | 0.0000E+00 | -1.3070E+03 | -1.7530E+02 |

## 附錄二. 設備成本

### 一. 裂解氣體壓縮段之設備成本

| unit operation | Duty (kcal/h) | U (Btu/h-ft <sup>2</sup> -F) | U (kcal/h-m <sup>2</sup> -C) | Th,in (C) | Th,out (C) | LMTD (C)  | Calc. Area (m <sup>2</sup> ) | Total Area (m <sup>2</sup> ) | no. of shell/ exchag. | no. of exchanger | Design pressure (kg/cm <sup>2</sup> G) | Total cost (US\$) | 備註   |
|----------------|---------------|------------------------------|------------------------------|-----------|------------|-----------|------------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------|--|-------------------|--|
| 1              | 3.70E+06      | ...                          | ...                          | ...       | ...        | ...       | ...                          | ...                          | ...                   | ...              | ...                                    | 3.17E+06          |  |
| 2              | 4.66E+06      | ...                          | ...                          | ...       | ...        | ...       | ...                          | ...                          | ...                   | ...              | ...                                    | 3.67E+06          |  |
| 3              | 4.48E+06      | ...                          | ...                          | ...       | ...        | ...       | ...                          | ...                          | ...                   | ...              | ...                                    | 3.58E+06          |  |
| 4              | 4.15E+06      | ...                          | ...                          | ...       | ...        | ...       | ...                          | ...                          | ...                   | ...              | ...                                    | 3.41E+06          |  |
| 5              | 4.55E+06      | ...                          | ...                          | ...       | ...        | ...       | ...                          | ...                          | ...                   | ...              | ...                                    | 3.61E+06          |  |
| 6              | 6.77E+06      | 6.25E+01                     | 3.05E+02                     | 7.30 E+01 | 2.90 E+01  | 1.02 E+01 | 2.18E+03                     | 2.20E+03                     | 2.00E+00              | 1.00E+00         | 5.00E+00                               | 6.08E+05          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),35-90,utility Tin=28C,utility Tout=35C |
| 7              | 5.62E+06      | 6.25E+01                     | 3.05E+02                     | 7.30 E+01 | 3.00 E+01  | 1.22 E+01 | 1.51E+03                     | 1.60E+03                     | 1.00E+00              | 1.00E+00         | 1.00E+01                               | 4.64E+05          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),35-90,utility Tin=28C,utility Tout=35C |
| 8              | 4.93E+06      | 6.25E+01                     | 3.05E+02                     | 7.50 E+01 | 3.50 E+01  | 1.89 E+01 | 8.53E+02                     | 1.00E+03                     | 1.00E+00              | 1.00E+00         | 1.50E+01                               | 2.74E+05          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),35-90,utility Tin=28C,utility Tout=35C |
| 9              | 5.81E+06      | 6.25E+01                     | 3.05E+02                     | 7.90 E+01 | 3.50 E+01  | 2.01 E+01 | 9.46E+02                     | 1.00E+03                     | 1.00E+00              | 1.00E+00         | 3.00E+01                               | 3.74E+05          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),35-90,utility Tin=28C,utility Tout=35C |
| 10             | 1.11E+07      | 6.25E+01                     | 3.05E+02                     | 8.80 E+01 | 1.70 E+01  | 2.27 E+01 | 1.60E+03                     | 1.70E+03                     | 1.00E+00              | 1.00E+00         | 5.00E+01                               | 9.14E+05          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),35-90,utility Tin=10C,utility Tout=35C |
| 20             | 1.46E+03      | ...                          | ...                          | ...       | ...        | ...       | ...                          | ...                          | ...                   | ...              | ...                                    | 9.69E+03          | ...  |

二. 去甲烷進氣處理段之設備成本

| unit operation | Duty (kcal/h) | U (Btu/h-ft <sup>2</sup> -F) | U (kcal/h-m <sup>2</sup> -C) | LMTD (C) | Calc. Area (m <sup>2</sup> ) | Total Area (m <sup>2</sup> ) | Design pressure (kg/cm <sup>2</sup> G) | Total cost (US\$) | 備註                                      |
|----------------|---------------|------------------------------|------------------------------|----------|------------------------------|------------------------------|--|-------------------|---|
| 1              | 2.06E+06      | 2.00E+01                     | 9.77E+01                     | 2.50E+00 | 8.43E+03                     | 8.50E+03                     | 5.00E+01                               | 4.80E+06          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31), 15-25  |
| 2              | 1.56E+06      | 2.00E+01                     | 9.77E+01                     | 2.50E+00 | 6.38E+03                     | 6.40E+03                     | 5.00E+01                               | 3.63E+06          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31), 15-25  |
| 3              | 1.97E+06      | 2.00E+01                     | 9.77E+01                     | 2.50E+00 | 8.07E+03                     | 8.10E+03                     | 5.00E+01                               | 4.59E+06          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31), 15-25  |
| 4              | 7.64E+05      | 2.00E+01                     | 9.77E+01                     | 2.50E+00 | 3.13E+03                     | 3.20E+03                     | 5.00E+01                               | 1.78E+06          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31), 15-25  |
| 5              | 2.29E+06      | 7.30E+01                     | 3.57E+02                     | 2.50E+00 | 2.57E+03                     | 2.60E+03                     | 4.50E+01                               | 1.47E+06          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31), 45-100 |
| 6              | 1.94E+06      | 7.30E+01                     | 3.57E+02                     | 2.50E+00 | 2.17E+03                     | 2.20E+03                     | 4.50E+01                               | 1.24E+06          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31), 45-100 |
| 7              | 2.52E+05      | 7.30E+01                     | 3.57E+02                     | 2.50E+00 | 2.82E+02                     | 3.00E+02                     | 4.50E+01                               | 1.61E+05          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31), 45-100 |
| 21             | 4.19E+05      | 4.65E+01                     | 2.27E+02                     | 2.50E+00 | 7.38E+02                     | 8.00E+02                     | 4.50E+01                               | 4.20E+05          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31), 20-73  |
|                | 3.51E+04      | 4.65E+01                     | 2.27E+02                     | 2.50E+00 | 6.17E+01                     | 8.00E+01                     | 4.50E+01                               | 3.52E+04          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31), 20-73  |
|                | 1.14E+05      | 4.65E+01                     | 2.27E+02                     | 2.50E+00 | 2.01E+02                     | 2.50E+02                     | 4.50E+01                               | 1.14E+05          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31), 20-73  |

二. 去甲烷進氣處理段之設備成本(續一)

| unit operation | Duty (kcal/h) | U (Btu/h-ft <sup>2</sup> -F) | U (kcal/h-m <sup>2</sup> -C) | LMTD (C) | Calc. Area (m <sup>2</sup> ) | Total Area (m <sup>2</sup> ) | Design pressure (kg/cm <sup>2</sup> G) | Total cost (US\$) | 備註  |
|----------------|---------------|------------------------------|------------------------------|----------|------------------------------|------------------------------|--|-------------------|---|
| 22             | 3.64E+05      | 4.65E+01                     | 2.27E+02                     | 2.50E+00 | 6.42E+02                     | 8.00E+02                     | 4.50E+01                               | 3.65E+05          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),20-73           |
|                | 1.73E+06      | 4.65E+01                     | 2.27E+02                     | 2.50E+00 | 3.05E+03                     | 3.10E+03                     | 4.50E+01                               | 1.74E+06          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),20-73, LMTD=2~3 |
|                | 9.60E+04      | 4.65E+01                     | 2.27E+02                     | 2.50E+00 | 1.69E+02                     | 2.00E+02                     | 4.50E+01                               | 9.63E+04          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),20-73           |
|                | 2.57E+05      | 4.65E+01                     | 2.27E+02                     | 2.50E+00 | 4.52E+02                     | 5.00E+02                     | 4.50E+01                               | 2.58E+05          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),20-73           |
|                | 4.86E+05      | 4.65E+01                     | 2.27E+02                     | 2.50E+00 | 8.55E+02                     | 1.00E+03                     | 4.50E+01                               | 4.87E+05          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),20-73           |
| 24             | 1.04E+06      | 4.65E+01                     | 2.27E+02                     | 2.50E+00 | 1.83E+03                     | 2.00E+03                     | 4.50E+01                               | 1.04E+06          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),20-73           |
|                | 8.59E+04      | 4.65E+01                     | 2.27E+02                     | 2.50E+00 | 1.51E+02                     | 2.00E+02                     | 4.50E+01                               | 8.61E+04          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),20-73           |
|                | 3.32E+05      | 4.65E+01                     | 2.27E+02                     | 2.50E+00 | 5.84E+02                     | 6.00E+02                     | 4.50E+01                               | 3.33E+05          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),20-73           |
|                | 7.06E+05      | 4.65E+01                     | 2.27E+02                     | 2.50E+00 | 1.24E+03                     | 1.30E+03                     | 1.00E+01                               | 7.08E+05          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),20-73           |
|                | 4.23E+05      | 4.65E+01                     | 2.27E+02                     | 2.50E+00 | 7.45E+02                     | 8.00E+02                     | 4.50E+01                               | 4.24E+05          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),20-73           |
| 23             | 1.83E+05      | 4.65E+01                     | 2.27E+02                     | 2.50E+00 | 3.22E+02                     | 4.00E+02                     | 4.50E+01                               | 1.83E+05          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),20-73           |
|                | 1.38E+05      | 4.65E+01                     | 2.27E+02                     | 2.50E+00 | 2.43E+02                     | 3.00E+02                     | 4.50E+01                               | 1.38E+05          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),20-73           |
|                | 2.95E+05      | 4.65E+01                     | 2.27E+02                     | 2.50E+00 | 5.19E+02                     | 6.00E+02                     | 1.00E+01                               | 2.96E+05          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),20-73           |

二. 去甲烷進氣處理段之設備成本(續二)

| unit<br>operation | Duty<br>(kcal/h) | U<br>(Btu/h-ft <sup>2</sup> -F) | U<br>(kcal/h-m <sup>2</sup> -C) | LMTD     | Calc. Area<br>(m <sup>2</sup> ) | Total Area<br>(m <sup>2</sup> ) | Design<br>pressure<br>(kg/cm <sup>2</sup> G) | Total cost<br>(US\$) | 備註                                       |
|-------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------|---------------------------------|---------------------------------|--|----------------------|--|
| 25                | 1.44E+06         | 4.65E+01                        | 2.27E+02                        | 2.50E+00 | 2.53E+03                        | 2.60E+03                        | 5.00E+01                                     | 1.44E+06             | U:Rules of Thumb for<br>C.E.(p.31),20-73 |
|                   | 1.97E+05         | 4.65E+01                        | 2.27E+02                        | 2.50E+00 | 3.47E+02                        | 4.00E+02                        | 1.20E+01                                     | 1.98E+05             | U:Rules of Thumb for<br>C.E.(p.31),20-73 |
|                   | 6.60E+04         | 4.65E+01                        | 2.27E+02                        | 2.50E+00 | 1.16E+02                        | 2.00E+02                        | 4.50E+01                                     | 6.62E+04             | U:Rules of Thumb for<br>C.E.(p.31),20-73 |
|                   | 3.12E+05         | 4.65E+01                        | 2.27E+02                        | 2.50E+00 | 5.49E+02                        | 6.00E+02                        | 4.50E+01                                     | 3.13E+05             | U:Rules of Thumb for<br>C.E.(p.31),20-73 |
|                   | 6.67E+05         | 4.65E+01                        | 2.27E+02                        | 2.50E+00 | 1.17E+03                        | 1.20E+03                        | 5.00E+01                                     | 6.69E+05             | U:Rules of Thumb for<br>C.E.(p.31),20-73 |
|                   |                  |                                 |                                 |          |                                 |                                 |  |                      |  |

三. 去甲烷段之設備成本

| unit operation | name   | Duty (kcal/h) | U (Btu/h-ft <sup>2</sup> -F) | U (kcal/h-m <sup>2</sup> -C) | LMTD (C) | Calc. Area (m <sup>2</sup> ) | Total Area (m <sup>2</sup> ) | no. of trays | Reflux ratio | Total cost (US\$) | 備註 |
|----------------|--------|---------------|------------------------------|------------------------------|----------|------------------------------|------------------------------|--------------|--------------|-------------------|----|
| 1              | Cond.  | 5.63E+05      | 2.00E+01                     | 9.77E+01                     | 2.50E+00 | 1.44E+04                     | 1.50E+04                     | 7.30E+01     | 3.34E-01     | 1.65E+07          |    |
|                | Reblr. | 3.25E+06      | 2.00E+01                     | 9.77E+01                     | 2.50E+00 | 8.32E+04                     | 8.40E+04                     |              |              |                   |    |
| 2              | Cond.  | ...           | ...                          | ...                          | ...      | ...                          | ...                          | 2.80E+01     | ...          | 4.46E+06          |    |
|                | Reblr. | 4.52E+06      | 8.00E+01                     | 3.91E+02                     | 2.50E+00 | 2.89E+04                     | 3.00E+04                     |              |              |                   |    |
| 4              | ...    | 6.39E+05      | ...                          | ...                          | ...      | ...                          | ...                          | ...          | ...          | 1.33E+05          |    |

四. 去乙烷與 C2 分離段之設備成本

| unit<br>operation | name   | Duty<br>(kcal/h) | U<br>(Btu/h-ft <sup>2</sup> -F) | U<br>(kcal/h-m <sup>2</sup> -C) | LMTD<br>(C) | Calc. Area<br>(m <sup>2</sup> ) | Total Area<br>(m <sup>2</sup> ) | no. of trays | Reflux<br>ratio | Total cost<br>(US\$) | 備註 |
|-------------------|--------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------|-----------------|----------------------|----|
| 32                | Cond.  | 4.89E+06         | 2.00E+01                        | 9.77E+01                        | 2.50E+00    | 1.25E+05                        | 1.30E+05                        | 7.80E+01     | 8.00E-01        | 1.69E+08             |    |
|                   | H.E.   | 4.15E+06         | 8.00E+01                        | 3.91E+02                        | 2.50E+00    | 2.65E+04                        | 2.80E+04                        |              |                 |                      |    |
|                   | Reblr. | 7.30E+06         | 1.75E+01                        | 8.55E+01                        | 2.50E+00    | 2.13E+05                        | 2.20E+05                        |              |                 |                      |    |
| 2                 | Cond.  | 2.34E+07         | 2.00E+01                        | 9.77E+01                        | 2.50E+00    | 5.99E+05                        | 6.00E+05                        | 1.22E+02     | 3.95E+00        | 4.83E+08             |    |
|                   | H.E.   | 1.09E+07         | 2.00E+01                        | 9.77E+01                        | 2.50E+00    | 2.78E+05                        | 2.80E+05                        |              |                 |                      |    |
|                   | Reblr. | 6.92E+06         | 2.00E+01                        | 9.77E+01                        | 2.50E+00    | 1.77E+05                        | 1.80E+05                        |              |                 |                      |    |



五. 去丙烷與去丁烷段之設備成本

| unit operation | name   | Duty (kcal/h) | U (Btu/h-ft <sup>2</sup> -F) | U (kcal/h-m <sup>2</sup> -C) | LMTD (C) | Calc. Area (m <sup>2</sup> ) | Total Area (m <sup>2</sup> ) | no. of trays | Reflux ratio | Total cost (US\$) | 備註 |
|----------------|--------|---------------|------------------------------|------------------------------|----------|------------------------------|------------------------------|--------------|--------------|-------------------|----|
| 1              | Cond.  | 7.42E+06      | 2.00E+01                     | 9.77E+01                     | 2.50E+00 | 1.90E+05                     | 2.00E+06                     | 8.10E+01     | 1.44E+00     | 7.27E+08          |    |
|                | H.E.   | 1.20E+06      | 8.00E+01                     | 3.91E+02                     | 2.50E+00 | 7.68E+03                     | 7.80E+03                     |              |              |                   |    |
|                | Reblr. | 3.09E+06      | 1.75E+01                     | 8.55E+01                     | 2.50E+00 | 9.05E+04                     | 1.00E+05                     |              |              |                   |    |
| 2              | Cond.  | 5.54E+06      | 8.00E+01                     | 3.91E+02                     | 2.50E+00 | 3.55E+04                     | 3.60E+04                     | 3.70E+01     | 1.70E+00     | 6.33E+07          |    |
|                | H.E.   | 1.04E+06      | 8.00E+01                     | 3.91E+02                     | 2.50E+00 | 6.65E+03                     | 6.70E+03                     |              |              |                   |    |
|                | Reblr. | 4.44E+06      | 1.75E+01                     | 8.55E+01                     | 2.50E+00 | 1.30E+05                     | 1.40E+05                     |              |              |                   |    |

六. C3 分離段之設備成本

| unit<br>operation | name   | Duty<br>(kcal/h) | U<br>(Btu/h-ft <sup>2</sup> -F) | U<br>(kcal/h-m <sup>2</sup> -C) | LMTD<br>(C) | Calc. Area<br>(m <sup>2</sup> ) | Total Area<br>(m <sup>2</sup> ) | no. of trays | Reflux<br>ratio | Total cost<br>(US\$) | 備註 |
|-------------------|--------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------|-----------------|----------------------|----|
| 1                 | Cond.1 | 7.24E+04         | 8.00E+01                        | 3.91E+02                        | 2.50E+00    | 4.63E+02                        | 4.80E+02                        | 2.20E+01     | 1.36E+00        | 6.85E+06             |    |
|                   | Cond.2 | 3.96E+03         | 2.00E+01                        | 9.77E+01                        | 2.50E+00    | 1.01E+02                        | 1.20E+02                        |              |                 |                      |    |
|                   | Reblr. | 2.73E+06         | 8.00E+01                        | 3.91E+02                        | 2.50E+00    | 1.75E+04                        | 1.80E+04                        |              |                 |                      |    |
| 6                 | Cond.  | ...              | ...                             | ...                             | ...         | ...                             | ...                             | 7.40E+01     | 0.00E+00        | 5.46E+07             |    |
|                   | Reblr. | 2.13E+07         | 8.00E+01                        | 3.91E+02                        | 2.50E+00    | 1.36E+05                        | 1.40E+05                        |              |                 |                      |    |
| 3                 | Cond.  | 2.41E+07         | 8.00E+01                        | 3.91E+02                        | 2.50E+00    | 1.54E+05                        | 1.60E+05                        | 1.06E+02     | 1.30E+01        | 6.27E+07             |    |
|                   | Reblr. | ...              | ...                             | ...                             | ...         | ...                             | ...                             |              |                 |                      |    |
| 5                 | ...    | 4.91E+04         | ...                             | ...                             | ...         | ...                             | ...                             | ...          | ...             | 3.38E+04             |    |

七. 乙烯冷凍系統之設備成本

| unit operation | Duty (kcal/h) | U (Btu/h-ft <sup>2</sup> -F) | U (kcal/h-m <sup>2</sup> -C) | LMTD (C)  | Calc. Area (m <sup>2</sup> ) | Total Area (m <sup>2</sup> ) | no. of shell/exchag. | no. of exchanger | Design pressure (kg/cm <sup>2</sup> G) | Total cost (US\$) | 備註   |
|----------------|---------------|------------------------------|------------------------------|-----------|------------------------------|------------------------------|----------------------|------------------|--|-------------------|--|
| 2              | 9.16E-02      | ...                          | ...                          | ...       | ...                          | ...                          | ...                  | ...              | ...                                    | 3.05E+05          |  |
| 4              | 9.28E-01      | ...                          | ...                          | ...       | ...                          | ...                          | ...                  | ...              | ...                                    | 1.31E+06          |  |
| 6              | 1.85E+00      | ...                          | ...                          | ...       | ...                          | ...                          | ...                  | ...              | ...                                    | 2.02E+06          |  |
| 7              | 9.00E+04      | 6.50E+01                     | 3.18E+02                     | 4.20 E+00 | 6.75E+01                     | 8.00E+01                     | 1.00E+00             | 1.00E+00         | 3.00E+01                               | 3.68E+04          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),50-80,utility Tin=28C,utility Tout=35C |
| 8              | 8.76E+06      | 7.50E+01                     | 3.66E+02                     | 2.50 E+00 | 9.56E+03                     | 1.00E+04                     | 5.00E+00             | 1.00E+00         | 3.00E+01                               | 4.59E+06          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),60-90                                  |
| 10             | 3.50E+04      | 7.30E+01                     | 3.57E+02                     | 2.50 E+00 | 3.93E+01                     | 5.00E+01                     | 1.00E+00             | 1.00E+00         | 3.00E+01                               | 2.30E+04          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),45-100                                 |
| 14             | 2.35E+06      | 7.30E+01                     | 3.57E+02                     | 2.50 E+00 | 2.64E+03                     | 3.00E+03                     | 2.00E+00             | 1.00E+00         | 1.50E+01                               | 1.38E+06          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),45-100                                 |
| 17             | 2.01E+06      | 7.30E+01                     | 3.57E+02                     | 2.50 E+00 | 2.25E+03                     | 2.40E+03                     | 2.00E+00             | 1.00E+00         | 5.00E+00                               | 1.10E+06          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),45-100                                 |
| 19             | 1.14E+06      | 7.30E+01                     | 3.57E+02                     | 2.50 E+00 | 1.28E+03                     | 1.40E+03                     | 1.00E+00             | 1.00E+00         | 5.00E+00                               | 6.43E+05          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),45-100                                 |
| 21             | 2.60E+05      | 7.30E+01                     | 3.57E+02                     | 2.50 E+00 | 2.92E+02                     | 3.00E+02                     | 1.00E+00             | 1.00E+00         | 2.00E+00                               | 1.38E+05          | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),45-100                                 |

八. 丙烯冷凍系統之設備成本

| unit operation | Duty (kcal/h) | U (Btu/h-ft <sup>2</sup> -F) | U (kcal/h-m <sup>2</sup> -C) | LMTD (C)  | Calc. Area (m <sup>2</sup> ) | Total Area (m <sup>2</sup> ) | no. of shell/exchag. | no. of exchanger | Design pressure (kg/cm <sup>2</sup> G) | Cost (US\$) | 備註                                     |
|----------------|---------------|------------------------------|------------------------------|-----------|------------------------------|------------------------------|----------------------|------------------|--|-------------|--|
| 2              | 2.72E+00      | ...                          | ...                          | ...       | ...                          | ...                          | ...                  | ...              | ...                                    | 2.61 E+06   |  |
| 4              | 2.39E+00      | ...                          | ...                          | ...       | ...                          | ...                          | ...                  | ...              | ...                                    | 2.41 E+06   |  |
| 6              | 2.95E+00      | ...                          | ...                          | ...       | ...                          | ...                          | ...                  | ...              | ...                                    | 2.75 E+06   |  |
| 8              | 5.05E+00      | ...                          | ...                          | ...       | ...                          | ...                          | ...                  | ...              | ...                                    | 3.86 E+06   |  |
| 9              | 4.82E+07      | 8.00E+01                     | 3.91E+02                     | 1.88 E+01 | 6.55E+03                     | 6.80E+03                     | 4.00E+00             | 1.00E+00         | 2.00E+01                               | 1.99 E+06   | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),60-100 |
| 14             | 1.20E+07      | 2.00E+01                     | 9.77E+01                     | 2.50 E+00 | 4.93E+04                     | 5.00E+04                     | 2.50E+01             | 1.00E+00         | 1.50E+01                               | 1.46 E+07   | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),15-25  |
| 17             | 1.20E+05      | 2.00E+01                     | 9.77E+01                     | 2.50 E+00 | 4.91E+02                     | 5.00E+02                     | 1.00E+00             | 1.00E+00         | 1.50E+01                               | 1.46 E+05   | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),15-25  |
| 21             | 2.63E+06      | 2.00E+01                     | 9.77E+01                     | 2.50 E+00 | 1.08E+04                     | 1.10E+04                     | 1.00E+01             | 1.00E+00         | 1.50E+01                               | 3.22 E+06   | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),15-25  |
| 22             | 1.00E+07      | 2.00E+01                     | 9.77E+01                     | 2.50 E+00 | 4.10E+04                     | 4.20E+04                     | 2.10E+01             | 1.00E+00         | 1.50E+01                               | 1.23 E+07   | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),15-25  |
| 25             | 1.10E+05      | 2.00E+01                     | 9.77E+01                     | 2.50 E+00 | 4.50E+02                     | 5.00E+02                     | 1.00E+00             | 1.00E+00         | 1.00E+01                               | 1.46 E+05   | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),15-25  |

八. 丙烯冷凍系統之設備成本(續)

| unit operation | Duty (kcal/h) | U (Btu/h-ft <sup>2</sup> -F) | U (kcal/h-m <sup>2</sup> -C) | LMTD      | Calc. Area(m <sup>2</sup> ) | Total Area(m <sup>2</sup> ) | no. of shell/exchag. | no. of exchanger | Design pressure (kg/cm <sup>2</sup> G) | Cost (US\$) | 備註                                    |
|----------------|---------------|------------------------------|------------------------------|-----------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------|--|-------------|---------------------------------------|
| 28             | 3.80E+05      | 2.00E+01                     | 9.77E+01                     | 2.50 E+00 | 1.56E+03                    | 1.60E+03                    | 1.00E+00             | 1.00E+00         | 1.00E+01                               | 4.68 E+05   | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),15-25 |
| 32             | 1.52E+07      | 2.00E+01                     | 9.77E+01                     | 2.50 E+00 | 6.23E+04                    | 6.40E+04                    | 3.20E+01             | 1.00E+00         | 1.00E+01                               | 1.87 E+07   | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),15-25 |
| 33             | 4.10E+05      | 2.00E+01                     | 9.77E+01                     | 2.50 E+00 | 1.68E+03                    | 1.80E+03                    | 1.00E+00             | 1.00E+00         | 1.00E+01                               | 5.26 E+05   | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),15-25 |
| 34             | 6.05E+06      | 2.00E+01                     | 9.77E+01                     | 2.50 E+00 | 2.48E+04                    | 2.60E+04                    | 1.30E+01             | 1.00E+00         | 1.00E+01                               | 7.60 E+06   | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),15-25 |
| 38             | 8.00E+04      | 2.00E+01                     | 9.77E+01                     | 2.50 E+00 | 3.27E+02                    | 4.00E+02                    | 1.00E+00             | 1.00E+00         | 5.00E+00                               | 1.17 E+05   | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),15-25 |
| 39             | 3.21E+07      | 7.50E+01                     | 3.66E+02                     | 2.50 E+00 | 3.50E+04                    | 3.60E+04                    | 1.80E+01             | 1.00E+00         | 5.00E+00                               | 1.05 E+07   | U:Rules of Thumb for C.E.(p.31),60-90 |

### 附錄三.公用設施之成本

| 公用設施           | 成本                  |
|----------------|---------------------|
| Cooling water  | US\$0.04425/1000gal |
| Electricity    | US\$0.059/kwhr      |
| Quench water   | US\$0.04425/1000gal |
| Steam(600psig) | US\$7.67/1000lb     |
| Steam(150psig) | US\$5.015/1000lb    |
| Steam(15psig)  | US\$3.363/1000lb    |

## 附錄四. 各物流的單位可用能成本與單位可用能經濟成本

### 一. 裂解氣體壓縮段之各物流的單位可用能成本(exc)

#### 與單位可用能經濟成本(tec)

| 物流  | 含設備成本           |             |                               | 不含設備成本          |             |                               |
|-----|-----------------|-------------|-------------------------------|-----------------|-------------|-------------------------------|
|     | 可用能<br>(kcal/h) | 單位可用能<br>成本 | 單位可用能<br>經濟成本<br>(US\$/Mkcal) | 可用能<br>(kcal/h) | 單位可用能<br>成本 | 單位可用能<br>經濟成本<br>(US\$/Mkcal) |
| 1   | 7.1591E+07      | 1.0424E+00  | 3.1363E+01                    | 7.1591E+07      | 1.0424E+00  | 2.1009E+01                    |
| 2   | 4.7553E+07      | 1.0024E+00  | 8.1095E+00                    | 4.7553E+07      | 1.0024E+00  | 5.3336E+00                    |
| 3   | 4.6983E+07      | 1.0024E+00  | 8.1095E+00                    | 4.6983E+07      | 1.0024E+00  | 5.3336E+00                    |
| 5   | 5.9531E+07      | 1.0038E+00  | 8.2454E+00                    | 5.9531E+07      | 1.0038E+00  | 5.4256E+00                    |
| 6   | -1.1771E+07     | 1.0038E+00  | 8.2454E+00                    | -1.1771E+07     | 1.0038E+00  | 5.4256E+00                    |
| 7   | 6.3685E+07      | 1.0115E+00  | 1.5127E+01                    | 6.3685E+07      | 1.0115E+00  | 1.0091E+01                    |
| 8   | 6.3249E+07      | 1.0115E+00  | 1.5127E+01                    | 6.3249E+07      | 1.0115E+00  | 1.0091E+01                    |
| 10  | 6.4979E+07      | 1.0123E+00  | 1.5380E+01                    | 6.4979E+07      | 1.0123E+00  | 1.0262E+01                    |
| 11  | 8.3141E+05      | 1.0123E+00  | 1.5380E+01                    | 8.3141E+05      | 1.0123E+00  | 1.0262E+01                    |
| 12  | 6.9067E+07      | 1.0172E+00  | 2.1072E+01                    | 6.9067E+07      | 1.0172E+00  | 1.4099E+01                    |
| 13  | 6.8637E+07      | 1.0172E+00  | 2.1072E+01                    | 6.8637E+07      | 1.0172E+00  | 1.4099E+01                    |
| 15  | 6.9196E+07      | 1.0182E+00  | 2.1311E+01                    | 6.9196E+07      | 1.0182E+00  | 1.4259E+01                    |
| 16  | 2.5994E+06      | 1.0182E+00  | 2.1311E+01                    | 2.5994E+06      | 1.0182E+00  | 1.4259E+01                    |
| 17  | 7.2749E+07      | 1.0255E+00  | 2.6134E+01                    | 7.2749E+07      | 1.0255E+00  | 1.7474E+01                    |
| 18  | 7.2243E+07      | 1.0255E+00  | 2.6134E+01                    | 7.2243E+07      | 1.0255E+00  | 1.7474E+01                    |
| 19  | 6.9049E+07      | 1.0254E+00  | 2.6131E+01                    | 6.9049E+07      | 1.0254E+00  | 1.7472E+01                    |
| 20  | 3.2032E+06      | 1.0254E+00  | 2.6131E+01                    | 3.2032E+06      | 1.0254E+00  | 1.7472E+01                    |
| 21  | 7.2291E+07      | 1.0424E+00  | 3.1363E+01                    | 7.2291E+07      | 1.0424E+00  | 2.1009E+01                    |
| 22  | 5.5320E+07      | 1.0426E+00  | 3.1368E+01                    | 5.5320E+07      | 1.0426E+00  | 2.1012E+01                    |
| 23  | 1.6260E+07      | 1.0426E+00  | 3.1368E+01                    | 1.6260E+07      | 1.0426E+00  | 2.1012E+01                    |
| 31  | -1.1771E+07     | 1.0036E+00  | 8.2026E+00                    | -1.1771E+07     | 1.0036E+00  | 5.4170E+00                    |
| 149 | 4.3971E+07      | 1.0000E+00  | 0.0000E+00                    | 4.3971E+07      | 1.0000E+00  | 0.0000E+00                    |

二. 去甲烷進氣處理段之各物流的單位可用能成本(exc)

與單位可用能經濟成本(tec)

| 物流 | 含設備成本           |             |                               | 不含設備成本          |             |                               |
|----|-----------------|-------------|-------------------------------|-----------------|-------------|-------------------------------|
|    | 可用能<br>(kcal/h) | 單位可用能<br>成本 | 單位可用能<br>經濟成本<br>(US\$/Mkcal) | 可用能<br>(kcal/h) | 單位可用能<br>成本 | 單位可用能<br>經濟成本<br>(US\$/Mkcal) |
| 1  | 4.9768E+07      | 1.0000E+00  | 3.1368E+01                    | 4.9768E+07      | 1.0000E+00  | 2.1012E+01                    |
| 2  | 4.0575E+07      | 1.0002E+00  | 3.1375E+01                    | 4.0575E+07      | 1.0002E+00  | 2.1017E+01                    |
| 3  | 4.0692E+07      | 1.0026E+00  | 3.8979E+01                    | 4.0692E+07      | 1.0026E+00  | 2.1667E+01                    |
| 4  | 4.0892E+07      | 1.0036E+00  | 4.4771E+01                    | 4.0892E+07      | 1.0036E+00  | 2.2365E+01                    |
| 5  | 4.6250E+06      | 1.0000E+00  | 1.1331E+03                    | 4.6250E+06      | 1.0000E+00  | 7.4951E+01                    |
| 6  | 4.1218E+07      | 1.0064E+00  | 5.3690E+01                    | 4.1218E+07      | 1.0064E+00  | 2.3641E+01                    |
| 7  | 9.1807E+06      | 1.0002E+00  | 3.1375E+01                    | 9.1807E+06      | 1.0002E+00  | 2.1017E+01                    |
| 8  | 4.4170E+06      | 1.0000E+00  | 1.1331E+03                    | 4.4170E+06      | 1.0000E+00  | 7.4951E+01                    |
| 9  | 4.1373E+07      | 1.0077E+00  | 6.0083E+01                    | 4.1373E+07      | 1.0077E+00  | 2.3930E+01                    |
| 11 | 2.8355E+07      | 1.0109E+00  | 9.3257E+01                    | 2.8355E+07      | 1.0109E+00  | 2.6153E+01                    |
| 12 | 2.2768E+07      | 1.0110E+00  | 9.3263E+01                    | 2.2768E+07      | 1.0110E+00  | 2.6155E+01                    |
| 13 | 2.3465E+07      | 1.0203E+00  | 1.1115E+02                    | 2.3465E+07      | 1.0203E+00  | 3.0181E+01                    |
| 14 | 2.4328E+07      | 1.0304E+00  | 1.3067E+02                    | 2.4328E+07      | 1.0304E+00  | 3.4824E+01                    |
| 16 | 5.5851E+06      | 1.0110E+00  | 9.3263E+01                    | 5.5851E+06      | 1.0110E+00  | 2.6155E+01                    |
| 17 | 1.3628E+07      | 1.0298E+00  | 1.3070E+02                    | 1.3628E+07      | 1.0298E+00  | 3.4637E+01                    |
| 18 | 5.0799E+06      | 1.0303E+00  | 1.3076E+02                    | 5.0799E+06      | 1.0303E+00  | 3.4652E+01                    |
| 19 | 5.2344E+06      | 1.0352E+00  | 1.4632E+02                    | 5.2344E+06      | 1.0352E+00  | 3.8456E+01                    |
| 20 | 8.5420E+06      | 1.0303E+00  | 1.3076E+02                    | 8.5420E+06      | 1.0303E+00  | 3.4652E+01                    |
| 22 | 1.7609E+06      | 1.0456E+00  | 1.4285E+02                    | 1.7609E+06      | 1.0456E+00  | 3.7031E+01                    |
| 23 | 1.5414E+07      | 1.0000E+00  | 1.2091E+02                    | 1.5414E+07      | 1.0000E+00  | 3.5159E+01                    |
| 24 | 6.0963E+06      | 1.0238E+00  | 1.3598E+02                    | 6.0963E+06      | 1.0238E+00  | 3.6259E+01                    |
| 26 | 2.2278E+07      | 1.0109E+00  | 9.3257E+01                    | 2.2278E+07      | 1.0109E+00  | 2.6153E+01                    |
| 30 | 1.6651E+07      | 1.0298E+00  | 1.3071E+02                    | 1.6651E+07      | 1.0298E+00  | 3.4637E+01                    |
| 31 | 2.0304E+06      | 1.0307E+00  | 1.4001E+02                    | 2.0304E+06      | 1.0307E+00  | 3.6836E+01                    |
| 32 | 7.4493E+06      | 1.0238E+00  | 1.3598E+02                    | 7.4493E+06      | 1.0238E+00  | 3.6259E+01                    |
| 33 | 1.1982E+07      | 1.0307E+00  | 1.4001E+02                    | 1.1982E+07      | 1.0307E+00  | 3.6836E+01                    |
| 34 | 6.6910E+06      | 1.0423E+00  | 1.4241E+02                    | 6.6910E+06      | 1.0423E+00  | 3.6916E+01                    |
| 35 | 4.3815E+06      | 1.0145E+00  | 2.3893E+02                    | 4.3815E+06      | 1.0145E+00  | 3.5707E+01                    |
| 36 | 9.3586E+06      | 1.0145E+00  | 2.3893E+02                    | 9.3586E+06      | 1.0145E+00  | 3.5707E+01                    |
| 37 | 5.9693E+06      | 1.0244E+00  | 1.3046E+02                    | 5.9693E+06      | 1.0244E+00  | 3.3772E+01                    |



二. 去甲烷進氣處理段之各物流的單位可用能成本(exc)

與單位可用能經濟成本(tec) (續)

| 物流 | 含設備成本           |             |                               | 不含設備成本          |             |                               |
|----|-----------------|-------------|-------------------------------|-----------------|-------------|-------------------------------|
|    | 可用能<br>(kcal/h) | 單位可用能<br>成本 | 單位可用能<br>經濟成本<br>(US\$/Mkcal) | 可用能<br>(kcal/h) | 單位可用能<br>成本 | 單位可用能<br>經濟成本<br>(US\$/Mkcal) |
| 38 | 8.7988E+06      | 1.0256E+00  | 1.3593E+02                    | 8.7988E+06      | 1.0256E+00  | 3.5785E+01                    |
| 39 | 1.3582E+07      | 1.0210E+00  | 1.3561E+02                    | 1.3582E+07      | 1.0210E+00  | 3.6161E+01                    |
| 40 | 6.5718E+06      | 1.0210E+00  | 1.3561E+02                    | 6.5718E+06      | 1.0210E+00  | 3.6161E+01                    |
| 41 | 4.9093E+06      | 1.0456E+00  | 1.4285E+02                    | 4.9093E+06      | 1.0456E+00  | 3.7031E+01                    |
| 42 | 1.2598E+06      | 1.0423E+00  | 1.4241E+02                    | 1.2598E+06      | 1.0423E+00  | 3.6916E+01                    |
| 43 | 1.2136E+06      | 1.0210E+00  | 1.3561E+02                    | 1.2136E+06      | 1.0210E+00  | 3.6161E+01                    |
| 44 | 1.1965E+06      | 1.0256E+00  | 1.3593E+02                    | 1.1965E+06      | 1.0256E+00  | 3.5785E+01                    |
| 45 | 1.1730E+06      | 1.0244E+00  | 1.3046E+02                    | 1.1730E+06      | 1.0244E+00  | 3.3772E+01                    |
| 46 | 1.1650E+06      | 1.0145E+00  | 2.3893E+02                    | 1.1650E+06      | 1.0145E+00  | 3.5707E+01                    |
| 47 | 4.7281E+06      | 1.0423E+00  | 1.4241E+02                    | 4.7281E+06      | 1.0423E+00  | 3.6916E+01                    |
| 48 | 4.4663E+06      | 1.0210E+00  | 1.3561E+02                    | 4.4663E+06      | 1.0210E+00  | 3.6161E+01                    |
| 49 | 4.3748E+06      | 1.0256E+00  | 1.3593E+02                    | 4.3748E+06      | 1.0256E+00  | 3.5785E+01                    |
| 50 | 4.2422E+06      | 1.0244E+00  | 1.3046E+02                    | 4.2422E+06      | 1.0244E+00  | 3.3772E+01                    |
| 51 | 4.1983E+06      | 1.0145E+00  | 2.3893E+02                    | 4.1983E+06      | 1.0145E+00  | 3.5707E+01                    |
| 52 | 1.4941E+07      | 1.0210E+00  | 1.3561E+02                    | 1.4941E+07      | 1.0210E+00  | 3.6161E+01                    |
| 53 | 1.4739E+07      | 1.0256E+00  | 1.3593E+02                    | 1.4739E+07      | 1.0256E+00  | 3.5785E+01                    |
| 54 | 1.4462E+07      | 1.0244E+00  | 1.3046E+02                    | 1.4462E+07      | 1.0244E+00  | 3.3772E+01                    |
| 55 | 1.4372E+07      | 1.0145E+00  | 2.3893E+02                    | 1.4372E+07      | 1.0145E+00  | 3.5707E+01                    |

三. 去甲烷段流之各物流的單位可用能成本(exc)與單位可用能經濟成本(tec)

| 物流 | 含設備成本           |             |                               | 不含設備成本          |             |                               |
|----|-----------------|-------------|-------------------------------|-----------------|-------------|-------------------------------|
|    | 可用能<br>(kcal/h) | 單位可用能<br>成本 | 單位可用能<br>經濟成本<br>(US\$/Mkcal) | 可用能<br>(kcal/h) | 單位可用能<br>成本 | 單位可用能<br>經濟成本<br>(US\$/Mkcal) |
| 1  | 2.2278E+07      | 1.0000E+00  | 9.3257E+01                    | 2.2278E+07      | 1.0000E+00  | 2.6153E+01                    |
| 2  | 2.1815E+07      | 1.0000E+00  | 3.1368E+01                    | 2.1815E+07      | 1.0000E+00  | 2.1012E+01                    |
| 3  | 3.6932E+07      | 1.0127E+00  | 7.8814E+01                    | 3.6932E+07      | 1.0127E+00  | 2.3893E+01                    |
| 4  | 6.9523E+06      | 1.0127E+00  | 7.8814E+01                    | 6.9523E+06      | 1.0127E+00  | 2.3893E+01                    |
| 5  | 1.6651E+07      | 1.0000E+00  | 1.3071E+02                    | 1.6651E+07      | 1.0000E+00  | 3.4637E+01                    |
| 6  | 2.0304E+06      | 1.0000E+00  | 1.4001E+02                    | 2.0304E+06      | 1.0000E+00  | 3.6836E+01                    |
| 7  | 7.1589E+06      | 1.0000E+00  | 1.3561E+02                    | 7.1589E+06      | 1.0000E+00  | 3.6161E+01                    |
| 8  | 1.6104E+07      | 1.0381E+00  | 1.4045E+02                    | 1.6104E+07      | 1.0381E+00  | 3.6257E+01                    |
| 9  | 1.6208E+07      | 1.0381E+00  | 1.4045E+02                    | 1.6208E+07      | 1.0381E+00  | 3.6257E+01                    |
| 10 | 1.5567E+07      | 1.0381E+00  | 1.4045E+02                    | 1.5567E+07      | 1.0381E+00  | 3.6257E+01                    |
| 11 | 1.1525E+07      | 1.0382E+00  | 1.4047E+02                    | 1.1525E+07      | 1.0382E+00  | 3.6261E+01                    |
| 12 | 4.0400E+06      | 1.0382E+00  | 1.4047E+02                    | 4.0400E+06      | 1.0382E+00  | 3.6261E+01                    |

四. 去乙烷與 C2 分離段之各物流的單位可用能成本(exc)

與單位可用能經濟成本(tec)

| 物流 | 含設備成本           |             |                               | 不含設備成本          |             |                               |
|----|-----------------|-------------|-------------------------------|-----------------|-------------|-------------------------------|
|    | 可用能<br>(kcal/h) | 單位可用能<br>成本 | 單位可用能<br>經濟成本<br>(US\$/Mkcal) | 可用能<br>(kcal/h) | 單位可用能<br>成本 | 單位可用能<br>經濟成本<br>(US\$/Mkcal) |
| 1  | 1.6104E+07      | 1.0000E+00  | 1.4045E+02                    | 1.6104E+07      | 1.0000E+00  | 3.6257E+01                    |
| 2  | 3.6932E+07      | 1.0000E+00  | 7.8814E+01                    | 3.6932E+07      | 1.0000E+00  | 2.3893E+01                    |
| 3  | 2.6848E+07      | 1.0509E+00  | 2.5624E+02                    | 2.6848E+07      | 1.0509E+00  | 4.8147E+01                    |
| 4  | 2.6939E+07      | 1.0509E+00  | 2.5624E+02                    | 2.6939E+07      | 1.0509E+00  | 4.8147E+01                    |
| 6  | 2.0224E+07      | 1.2680E+00  | 1.1494E+03                    | 2.0224E+07      | 1.2680E+00  | 7.5522E+01                    |
| 7  | 5.1718E+06      | 1.2680E+00  | 1.1494E+03                    | 5.1718E+06      | 1.2680E+00  | 7.5522E+01                    |
| 8  | 2.6696E+07      | 1.0569E+00  | 2.5770E+02                    | 2.6696E+07      | 1.0569E+00  | 4.8422E+01                    |

五. 去丙烷與去丁烷段之各物流的單位可用能成本(exc)

與單位可用能經濟成本(tec)

| 物流 | 含設備成本           |             |                               | 不含設備成本          |             |                               |
|----|-----------------|-------------|-------------------------------|-----------------|-------------|-------------------------------|
|    | 可用能<br>(kcal/h) | 單位可用能<br>成本 | 單位可用能<br>經濟成本<br>(US\$/Mkcal) | 可用能<br>(kcal/h) | 單位可用能<br>成本 | 單位可用能<br>經濟成本<br>(US\$/Mkcal) |
| 1  | 2.6696E+07      | 1.0000E+00  | 2.5770E+02                    | 2.6696E+07      | 1.0000E+00  | 4.8422E+01                    |
| 2  | 1.5628E+07      | 1.0423E+00  | 1.4394E+03                    | 1.5628E+07      | 1.0423E+00  | 6.7639E+01                    |
| 3  | 1.1372E+07      | 1.0423E+00  | 1.4394E+03                    | 1.1372E+07      | 1.0423E+00  | 6.7639E+01                    |
| 6  | 7.5285E+06      | 1.1158E+00  | 1.6125E+03                    | 7.5285E+06      | 1.1158E+00  | 1.0735E+02                    |
| 8  | 8.3436E+06      | 1.1158E+00  | 1.6125E+03                    | 8.3436E+06      | 1.1158E+00  | 1.0735E+02                    |

六. C3 分離段之各物流的單位可用能成本(exc)與單位可用能經濟成本(tec)

| 物流 | 含設備成本           |             |                               | 不含設備成本          |             |                               |
|----|-----------------|-------------|-------------------------------|-----------------|-------------|-------------------------------|
|    | 可用能<br>(kcal/h) | 單位可用能<br>成本 | 單位可用能<br>經濟成本<br>(US\$/Mkcal) | 可用能<br>(kcal/h) | 單位可用能<br>成本 | 單位可用能<br>經濟成本<br>(US\$/Mkcal) |
| 1  | 1.4167E+07      | 1.0000E+00  | 1.4394E+03                    | 1.4167E+07      | 1.0000E+00  | 6.7639E+01                    |
| 2  | 1.5139E+05      | 1.0138E+00  | 1.4489E+03                    | 1.5139E+05      | 1.0138E+00  | 7.3795E+01                    |
| 3  | 1.5681E+05      | 1.0138E+00  | 1.4489E+03                    | 1.5681E+05      | 1.0138E+00  | 7.3795E+01                    |
| 4  | 1.4031E+07      | 1.0138E+00  | 1.4489E+03                    | 1.4031E+07      | 1.0138E+00  | 7.3794E+01                    |
| 5  | 1.6058E+05      | 1.1177E+00  | 1.7050E+03                    | 1.6058E+05      | 1.1177E+00  | 7.7618E+01                    |
| 6  | 8.9426E+06      | 1.1219E+00  | 1.7325E+03                    | 8.9426E+06      | 1.1219E+00  | 7.7907E+01                    |
| 7  | 1.2364E+08      | 1.1177E+00  | 1.7050E+03                    | 1.2364E+08      | 1.1177E+00  | 7.7618E+01                    |
| 8  | 1.0872E+08      | 1.1219E+00  | 1.7325E+03                    | 1.0872E+08      | 1.1219E+00  | 7.7908E+01                    |
| 9  | 4.7572E+06      | 1.1219E+00  | 1.7325E+03                    | 4.7572E+06      | 1.1219E+00  | 7.7908E+01                    |
| 10 | 1.1348E+08      | 1.1219E+00  | 1.7325E+03                    | 1.1348E+08      | 1.1219E+00  | 7.7907E+01                    |
| 11 | 1.0880E+08      | 1.1215E+00  | 1.7313E+03                    | 1.0880E+08      | 1.1215E+00  | 7.7883E+01                    |

七. 乙烯冷凍系統之各物流的單位可用能成本(exc)與單位可用能經濟成本(tec)

| 物流 | 含設備成本           |             |                               | 不含設備成本          |             |                               |
|----|-----------------|-------------|-------------------------------|-----------------|-------------|-------------------------------|
|    | 可用能<br>(kcal/h) | 單位可用能<br>成本 | 單位可用能<br>經濟成本<br>(US\$/Mkcal) | 可用能<br>(kcal/h) | 單位可用能<br>成本 | 單位可用能<br>經濟成本<br>(US\$/Mkcal) |
| 1  | 1.7583E+05      | 1.3455E+00  | 4.6143E+02                    | 1.7583E+05      | 1.3455E+00  | 1.2219E+02                    |
| 2  | 3.5111E+06      | 1.5014E+00  | 5.1491E+02                    | 3.5111E+06      | 1.5014E+00  | 1.3635E+02                    |
| 3  | 7.3286E+05      | 1.5014E+00  | 5.1491E+02                    | 7.3286E+05      | 1.5014E+00  | 1.3635E+02                    |
| 4  | 5.4713E+05      | 1.5014E+00  | 5.1491E+02                    | 5.4713E+05      | 1.5014E+00  | 1.3635E+02                    |
| 5  | 3.5809E+06      | 1.4977E+00  | 5.1017E+02                    | 3.5809E+06      | 1.4977E+00  | 1.3544E+02                    |
| 7  | 1.0644E+07      | 1.3874E+00  | 4.5585E+02                    | 1.0644E+07      | 1.3874E+00  | 1.2387E+02                    |
| 9  | 2.5119E+07      | 1.3488E+00  | 4.3720E+02                    | 2.5119E+07      | 1.3488E+00  | 1.1994E+02                    |
| 10 | 2.5115E+07      | 1.3488E+00  | 4.3720E+02                    | 2.5115E+07      | 1.3488E+00  | 1.1994E+02                    |
| 11 | 2.6594E+07      | 1.3294E+00  | 4.5591E+02                    | 2.6594E+07      | 1.3294E+00  | 1.2072E+02                    |
| 12 | 1.4571E+05      | 1.3292E+00  | 4.5585E+02                    | 1.4571E+05      | 1.3292E+00  | 1.2071E+02                    |
| 13 | 2.6452E+07      | 1.3292E+00  | 4.5584E+02                    | 2.6452E+07      | 1.3292E+00  | 1.2071E+02                    |
| 14 | 1.3864E+05      | 1.3292E+00  | 4.5585E+02                    | 1.3864E+05      | 1.3292E+00  | 1.2071E+02                    |
| 16 | 1.2831E+07      | 1.3451E+00  | 4.6129E+02                    | 1.2831E+07      | 1.3451E+00  | 1.2215E+02                    |
| 17 | 1.9954E+07      | 1.3451E+00  | 4.6129E+02                    | 1.9954E+07      | 1.3451E+00  | 1.2215E+02                    |
| 18 | 7.4355E+06      | 1.3455E+00  | 4.6143E+02                    | 7.4355E+06      | 1.3455E+00  | 1.2219E+02                    |
| 19 | 6.5059E+06      | 1.3455E+00  | 4.6143E+02                    | 6.5059E+06      | 1.3455E+00  | 1.2219E+02                    |
| 20 | 2.3369E+05      | 1.3455E+00  | 4.6143E+02                    | 2.3369E+05      | 1.3455E+00  | 1.2219E+02                    |
| 21 | 1.2278E+07      | 1.3455E+00  | 4.6143E+02                    | 1.2278E+07      | 1.3455E+00  | 1.2219E+02                    |
| 22 | 6.2362E+06      | 1.3592E+00  | 4.6614E+02                    | 6.2362E+06      | 1.3592E+00  | 1.2343E+02                    |
| 23 | 1.0386E+07      | 1.3592E+00  | 4.6614E+02                    | 1.0386E+07      | 1.3592E+00  | 1.2343E+02                    |
| 24 | 5.7503E+06      | 1.3592E+00  | 4.6615E+02                    | 5.7503E+06      | 1.3592E+00  | 1.2343E+02                    |
| 25 | 4.4687E+06      | 1.3592E+00  | 4.6615E+02                    | 4.4687E+06      | 1.3592E+00  | 1.2343E+02                    |
| 26 | 4.6360E+06      | 1.3592E+00  | 4.6615E+02                    | 4.6360E+06      | 1.3592E+00  | 1.2343E+02                    |
| 27 | 3.2599E+06      | 1.3600E+00  | 4.6640E+02                    | 3.2599E+06      | 1.3600E+00  | 1.2350E+02                    |
| 28 | 1.3736E+06      | 1.3600E+00  | 4.6640E+02                    | 1.3736E+06      | 1.3600E+00  | 1.2350E+02                    |
| 29 | 2.5338E+06      | 1.3600E+00  | 4.6640E+02                    | 2.5338E+06      | 1.3600E+00  | 1.2350E+02                    |

八. 丙烯冷凍系統之各物流的單位可用能成本(exc)與單位可用能經濟成本(tec)

| 物流 | 含設備成本           |             |                               | 不含設備成本          |             |                               |
|----|-----------------|-------------|-------------------------------|-----------------|-------------|-------------------------------|
|    | 可用能<br>(kcal/h) | 單位可用能<br>成本 | 單位可用能<br>經濟成本<br>(US\$/Mkcal) | 可用能<br>(kcal/h) | 單位可用能<br>成本 | 單位可用能<br>經濟成本<br>(US\$/Mkcal) |
| 1  | 4.4375E+06      | 3.0478E+00  | 9.3588E+02                    | 4.4375E+06      | 3.0478E+00  | 2.1007E+02                    |
| 2  | 6.4002E+06      | 2.5384E+00  | 6.9504E+02                    | 6.4002E+06      | 2.5384E+00  | 1.7481E+02                    |
| 4  | 9.8949E+06      | 2.2258E+00  | 5.8129E+02                    | 9.8949E+06      | 2.2258E+00  | 1.5324E+02                    |
| 5  | 7.7957E+06      | 2.2256E+00  | 5.9280E+02                    | 7.7957E+06      | 2.2256E+00  | 1.5322E+02                    |
| 6  | 1.0033E+07      | 2.0235E+00  | 4.9681E+02                    | 1.0033E+07      | 2.0235E+00  | 1.3924E+02                    |
| 8  | 1.7080E+07      | 1.8460E+00  | 3.8820E+02                    | 1.7080E+07      | 1.8460E+00  | 1.2694E+02                    |
| 9  | 1.5089E+07      | 1.8460E+00  | 3.8820E+02                    | 1.5089E+07      | 1.8460E+00  | 1.2694E+02                    |
| 10 | 1.4859E+07      | 1.8746E+00  | 3.9420E+02                    | 1.4859E+07      | 1.8746E+00  | 1.2890E+02                    |
| 11 | 1.6498E+06      | 1.8743E+00  | 3.9415E+02                    | 1.6498E+06      | 1.8743E+00  | 1.2889E+02                    |
| 12 | 1.3211E+07      | 1.8743E+00  | 3.9415E+02                    | 1.3211E+07      | 1.8743E+00  | 1.2889E+02                    |
| 13 | 4.7111E+06      | 1.8745E+00  | 3.9418E+02                    | 4.7111E+06      | 1.8745E+00  | 1.2890E+02                    |
| 14 | 4.6144E+06      | 1.8745E+00  | 3.9418E+02                    | 4.6144E+06      | 1.8745E+00  | 1.2890E+02                    |
| 15 | 8.4994E+06      | 1.8745E+00  | 3.9418E+02                    | 8.4994E+06      | 1.8745E+00  | 1.2890E+02                    |
| 17 | 6.4033E+06      | 1.9672E+00  | 4.1368E+02                    | 6.4033E+06      | 1.9672E+00  | 1.3527E+02                    |
| 18 | 7.7037E+06      | 1.9672E+00  | 4.1368E+02                    | 7.7037E+06      | 1.9672E+00  | 1.3527E+02                    |
| 19 | 4.4596E+04      | 1.9672E+00  | 4.1368E+02                    | 4.4596E+04      | 1.9672E+00  | 1.3528E+02                    |
| 20 | 3.9383E+04      | 1.9672E+00  | 4.1368E+02                    | 3.9383E+04      | 1.9672E+00  | 1.3528E+02                    |
| 21 | 3.1414E+06      | 1.9672E+00  | 4.1368E+02                    | 3.1414E+06      | 1.9672E+00  | 1.3527E+02                    |
| 22 | 3.2619E+06      | 1.9672E+00  | 4.1368E+02                    | 3.2619E+06      | 1.9672E+00  | 1.3527E+02                    |
| 23 | 7.6589E+06      | 1.9672E+00  | 4.1368E+02                    | 7.6589E+06      | 1.9672E+00  | 1.3528E+02                    |
| 24 | 3.1473E+06      | 1.9645E+00  | 4.1311E+02                    | 3.1473E+06      | 1.9645E+00  | 1.3509E+02                    |
| 25 | 1.1905E+05      | 1.9645E+00  | 4.1311E+02                    | 1.1905E+05      | 1.9645E+00  | 1.3509E+02                    |
| 26 | 9.7702E+05      | 1.9668E+00  | 4.1360E+02                    | 9.7702E+05      | 1.9668E+00  | 1.3525E+02                    |
| 27 | 8.6215E+05      | 1.9668E+00  | 4.1360E+02                    | 8.6215E+05      | 1.9668E+00  | 1.3525E+02                    |
| 28 | 6.6835E+06      | 1.9668E+00  | 4.1360E+02                    | 6.6835E+06      | 1.9668E+00  | 1.3525E+02                    |
| 29 | 3.5844E+06      | 1.8469E+00  | 5.0896E+02                    | 3.5844E+06      | 1.8469E+00  | 1.2533E+02                    |
| 30 | 1.5755E+06      | 1.9973E+00  | 4.6024E+02                    | 1.5755E+06      | 1.9973E+00  | 1.3679E+02                    |
| 31 | 2.1002E+06      | 2.2256E+00  | 5.9280E+02                    | 2.1002E+06      | 2.2256E+00  | 1.5322E+02                    |
| 33 | 9.1961E+06      | 1.9973E+00  | 4.6024E+02                    | 9.1961E+06      | 1.9973E+00  | 1.3679E+02                    |
| 34 | 3.8766E+04      | 1.9971E+00  | 4.6018E+02                    | 3.8766E+04      | 1.9971E+00  | 1.3677E+02                    |
| 35 | 2.6894E+04      | 1.9970E+00  | 4.6017E+02                    | 2.6894E+04      | 1.9970E+00  | 1.3677E+02                    |

八. 丙烯冷凍系統之各物流的單位可用能成本(exc)

與單位可用能經濟成本(tec)(續)

| 物流 | 含設備成本           |             |                               | 不含設備成本          |             |                               |
|----|-----------------|-------------|-------------------------------|-----------------|-------------|-------------------------------|
|    | 可用能<br>(kcal/h) | 單位可用能<br>成本 | 單位可用能<br>經濟成本<br>(US\$/Mkcal) | 可用能<br>(kcal/h) | 單位可用能<br>成本 | 單位可用能<br>經濟成本<br>(US\$/Mkcal) |
| 36 | 1.3582E+05      | 1.8454E+00  | 4.3389E+02                    | 1.3582E+05      | 1.8454E+00  | 1.1841E+02                    |
| 37 | 3.6395E+06      | 2.1391E+00  | 5.3885E+02                    | 3.6395E+06      | 2.1391E+00  | 1.4696E+02                    |
| 38 | 1.3461E+05      | 1.8620E+00  | 4.3780E+02                    | 1.3461E+05      | 1.8620E+00  | 1.1948E+02                    |
| 39 | 9.1587E+06      | 1.9970E+00  | 4.6017E+02                    | 9.1587E+06      | 1.9970E+00  | 1.3677E+02                    |
| 40 | 5.2988E+06      | 1.7824E+00  | 7.9568E+02                    | 5.2988E+06      | 1.7824E+00  | 1.2442E+02                    |
| 41 | 1.6578E+04      | 2.1391E+00  | 5.3885E+02                    | 1.6578E+04      | 2.1391E+00  | 1.4696E+02                    |
| 42 | 7.1173E+03      | 1.9970E+00  | 4.6016E+02                    | 7.1173E+03      | 1.9970E+00  | 1.3676E+02                    |
| 43 | 9.1519E+06      | 1.9970E+00  | 4.6016E+02                    | 9.1519E+06      | 1.9970E+00  | 1.3676E+02                    |
| 44 | 1.4172E+05      | 1.8689E+00  | 4.3895E+02                    | 1.4172E+05      | 1.8689E+00  | 1.2035E+02                    |
| 45 | 9.8438E+04      | 1.8689E+00  | 4.3895E+02                    | 9.8438E+04      | 1.8689E+00  | 1.2035E+02                    |
| 46 | 8.4995E+06      | 1.9970E+00  | 4.6016E+02                    | 8.4995E+06      | 1.9970E+00  | 1.3676E+02                    |
| 48 | 1.7317E+06      | 1.9538E+00  | 5.9994E+02                    | 1.7317E+06      | 1.9538E+00  | 1.3467E+02                    |
| 49 | 1.1917E+07      | 1.9538E+00  | 5.9994E+02                    | 1.1917E+07      | 1.9538E+00  | 1.3467E+02                    |
| 50 | 2.7742E+04      | 1.9541E+00  | 6.0002E+02                    | 2.7742E+04      | 1.9541E+00  | 1.3468E+02                    |
| 51 | 1.5343E+04      | 1.9540E+00  | 6.0003E+02                    | 1.5343E+04      | 1.9540E+00  | 1.3469E+02                    |
| 52 | 1.1888E+07      | 1.9540E+00  | 6.0001E+02                    | 1.1888E+07      | 1.9540E+00  | 1.3468E+02                    |
| 53 | 6.9215E+06      | 1.9540E+00  | 6.0001E+02                    | 6.9215E+06      | 1.9540E+00  | 1.3468E+02                    |

## 誌 謝

本計畫承中油公司提供研究經費，以及中油公司高雄煉油廠廠長室專案蘇清吉先生、石化處第五輕油裂解組林榮杰經理與孫昌明先生鼎力協助，提供資料與建議，使本計畫得以順利完成，謹誌深切謝忱。